

SFT

SAFETY & FIRE TECHNOLOGY

Exercising in a Radioactive Environment – a Case Study from CBRNE Exercise in Chernobyl Exclusion Zone

p. 160

Ćwiczenia w środowisku skażonym radioaktywnie – studium przypadku ćwiczeń CBRNE w Czarnobylu w strefie wyłączonej

s. 160



How to Protect Staircases
in Case of Fire in Mid-Rise
Buildings. Real Scale
Fire Tests **p. 6**

Jak zabezpieczyć klatki schodowe
w budynkach średniowysokich
na wypadek pożaru. Wyniki badań
rzeczywistych **s. 6**

Transformations of Metal
Nanoparticles in the Aquatic
Environment and Threat to
Environmental Safety **p. 54**

Przemiany nanocząstek metali
w środowisku wodnym i zagrożenie
dla bezpieczeństwa
środowiskowego **s. 54**

Emergency Medical Services
in CBRNE/HAZMAT
Incidents **p. 142**

Ratownictwo medyczne
w zdarzeniach
CBRNE/HAZMAT **s. 142**

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
bryg. dr inż. Mariusz Feltynowski
prof. Bogdan Z. Długogórski
prof. dr inż. Aleš Dudáček
prof. Arief E. Dahoe
dr Monika Wyszomirska-Łapczyńska
dr Agnieszka Siłuszyk
prof. Fan Weicheng
mgr Elżbieta Muszyńska-Poleć – Editorial Secretary / Sekretarz Redakcji

Language editing / Redakcja językowa:

mgr Aleksandra Grzęda
mgr Katarzyna Szulejewska
AGIT Agnieszka Rydz

Projekt okładki: Małgorzata Żurniewicz-Turno

Grafika na okładce: Adobe Stock

ISSN 2657-8808

DOI: 10.12845/sft

© by Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2019. Pewne prawa zastrzeżone. Artykuły udostępnione na licencji CC BY-SA 4.0 / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, 2019. 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 Przeciwożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy /
Scientific and Research Centre for Fire Protection – National
Research Institute

Czasopismo uzyskało finansowanie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego na stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – zadanie finansowane w ramach umowy 658/P-DUN/2018 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę (realizacja w latach 2018–2019).



The English translation of articles is financed by the Polish Ministry of Science and Higher Education.

Circulation / Nakład: 50 egz.

Typesetting / Skład: Małgorzata Żurniewicz-Turno
Print and binding / Druk i oprawa: Studio Sense

EDITORIAL ADVISORY BOARD / RADA NAUKOWA

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

dr hab. Aleksandr Wasiljewicz Matjuszyn
All-Russian Scientific Research Institute of Fire Safety
(VNIPO), Russia

dr Shamsutdin Sharabutdinovich Dagirov
State Fire Academy of EMERCOM of Russia

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
Institute for Fire and Rescue Technology in Dortmund,
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

INDEXING IN DATABASES / INDEKSACJA W BAZACH

Punkty MNISW: 20
Index Copernicus International: ICV 2018: 100
EBSCO Publishing
BazTech
RINC
J-Gate
VINITI
Referativnyj Zhurnal
Ulrich's Periodicals Directory
ProQuest

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

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

CONTENT

- 6** How to Protect Staircases in Case of Fire in Mid-Rise Buildings. Real Scale Fire Tests
Grzegorz Kubicki, Izabela Tekielak-Skałka, Marcin Cisek
- 22** Mapping the Distribution of Fires and Local Hazards on the Example of the Masovian Voivodeship
Joanna Koziół
- 32** Analysis of Threats Involving Liquefied Natural Gas (LNG) – Review of Literature Sources
Adrian Bralewski, Jerzy Wolanin
- 54** Transformations of Metal Nanoparticles in the Aquatic Environment and Threat to Environmental Safety
Ilona Tomczyk-Wydrych, Anna Rabajczyk
- 70** Metal Nanoparticles in Surface Waters – a Risk to Aquatic Organisms
Ilona Tomczyk-Wydrych, Anna Rabajczyk
- 90** A Simulator Supporting the Training of Police Officers who Process Traffic Incident Scenes
Mariusz Nepelski, Jarosław Struniawski
- 98** Professional Development Prospects for State Fire Service Spokespersons and Press Officers
Dominik Duralski
- 110** Situation in Ukraine Concerning Fire Deaths
Natalia Ivashyna, Oleksandr Borys, Alla Odynets
- 116** Systemic Approach to Civil Protection in Poland
Grzegorz Sobolewski
- 132** Critical Infrastructure in the National Security System
Bogdan Kosowski
- 142** Emergency Medical Services in CBRNE/HAZMAT Incidents
Arkadiusz Trzos, Karol Łyziński, Kamil Jurowski
- 160** Exercising in A radioactive environment – A Case Study from CBRNE Exercise in Chernobyl Exclusion Zone
Tomasz Zwęgliński, Andrii Maksimenko, Marcin Smolarkiewicz
- 168** Short-Term Measurements of Radon Concentrations in Selected Residential Buildings
Robert Piec, Barbara Szykuła-Piec, Aneta Łukaszek-Chmielewska, Krzysztof Isajenko, Iwona Słonecka
- 174** Ion Mobility Spectrometry as a Part of a System for Rapid Detection of Toxic Chemicals
Władysław Harmata
- 194** The Safety of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Missions in Storm and Precipitation Areas
Henryk Jafernik

SPIS TREŚCI

- 6** Jak zabezpieczyć klatki schodowe w budynkach średniowysokich na wypadek pożaru.
Wyniki badań rzeczywistych
Grzegorz Kubicki, Izabela Tekielak-Skałka, Marcin Cisek
- 22** Mapowanie rozkładu pożarów i miejscowych zagrożeń na przykładzie województwa mazowieckiego
Joanna Kozioł
- 32** Analiza zagrożeń z udziałem skroplonego gazu ziemnego (LNG) – przegląd źródeł literaturowych
Adrian Bralewski, Jerzy Wolanin
- 54** Przemiany nanocząsteczek metali w środowisku wodnym i zagrożenie dla bezpieczeństwa środowiskowego
Ilona Tomczyk-Wydrych, Anna Rabajczyk
- 70** Nanocząstki metali w wodach powierzchniowych – zagrożenie dla organizmów wodnych
Ilona Tomczyk-Wydrych, Anna Rabajczyk
- 90** Symulator wspomagający szkolenie funkcjonariuszy Policji w zakresie realizacji działań w miejscu wypadku drogowego
Mariusz Nepelski, Jarosław Struniawski
- 98** Perspektywa doskonalenia zawodowego rzeczników i oficerów prasowych Państwowej Straży Pożarnej
Dominik Durański
- 110** Ofiary śmiertelne w pożarach – sytuacja na Ukrainie
Natalia Ivashyna, Oleksandr Borys, Alla Odynets
- 116** Ujęcie systemowe ochrony ludności w Polsce
Grzegorz Sobolewski
- 132** Infrastruktura krytyczna w systemie bezpieczeństwa narodowego
Bogdan Kosowski
- 142** Ratownictwo medyczne w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT
Arkadiusz Trzos, Karol Łyziński, Kamil Jurowski
- 160** Ćwiczenia w środowisku skażonym radioaktywnie – studium przypadku ćwiczeń CBRNE w Czarnobylu w strefie wyłączonej
Tomasz Zwęgliński, Andrii Maksimenko, Marcin Smolarkiewicz
- 168** Krótkoterminowe pomiary stężenia radonu w wybranych budynkach mieszkalnych
Robert Piec, Barbara Szykuła-Piec, Aneta Łukaszek-Chmielewska, Krzysztof Isajenko, Iwona Słonecka
- 174** Spectrometria ruchliwości jonów jako element układów do szybkiego wykrywania toksycznych substancji chemicznych
Władysław Harmata
- 194** Bezpieczeństwo lotów bezałogowych statków powietrznych (BSP) w obszarach występowania opadów atmosferycznych i burz
Henryk Jafernik

Grzegorz Kubicki^{a)*}, Izabela Tekielak-Skałka^{b)}, Marcin Cisek^{c)}

^{a)} *Warsaw University of Technology / Politechnika Warszawska*

^{b)} *SMAY Sp. z o.o.*

^{c)} *PROTECT s.j.*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: grzegorz.kubicki@pw.edu.pl*

How to Protect Staircases in Case of Fire in Mid-Rise Buildings. Real Scale Fire Tests

Jak zabezpieczyć klatki schodowe w budynkach średniowysokich na wypadek pożaru. Wyniki badań rzeczywistych

ABSTRACT

Purpose: The aim of the analysis was to investigate how smoke would spread in the building in the case of fire, and how to protect staircases without a pressure differential system (PDS). It was assumed that a ventilation system should:

- prevent the staircase against complete smokiness. The part of the staircase located below the level covered by the fire should be smoke-free to the extent allowing the evacuation of people from the fire compartments;
- remove smoke from the staircase as fast as possible to prevent a significant increase in the level of pressure in the staircase.

Project and methods: Research was conducted in a full-scale 9-storey building. Three real fires were simulated. Typical apartment furnishings were used in the fires. A smoke ventilation system was installed in the staircase with variable make-up air supply. Tests were carried out for the following configurations of smoke ventilation systems:

- natural smoke exhaust with natural/gravitational make-up air;
- natural smoke exhaust with a mechanical (fixed volume of 14000 m³/h) make-up air inlet;
- natural smoke exhaust with a variable mechanical make-up air inlet.

The position of the door between the staircase and the apartment was used as an additional variable.

The measurements included temperature, light transmittance in the staircase, pressure difference between the staircase and the external environment, and the flow of the air and smoke through the smoke damper.

Results: The results of the research show that the system of gravitational smoke ventilation is susceptible to ambient conditions such as temperature. In some tests, it was observed that smoke could descend below the storey covered by the fire. The conducted research helped determine the best way to reduce the amount of smoke in the staircase. The use of mechanical air supply in the smoke ventilation system facilitated fast smoke removal from the staircase, and the proper air and smoke flow direction (from the test room to smoke exhaust devices).

The use of mechanical make-up air supply in the smoke ventilation system prevented the smoke from descending below the storey covered by the fire, so that the staircase on the floor covered by the fire could remain free from smoke in the lower part, providing a way of escape from the level covered by the fire.

Conclusions: The conducted tests have revealed that the best solution to protect staircases without PDSs is to use a smoke ventilation system comprising a smoke vent mounted at the top and mechanically adjusted make-up air supply on the ground level.

Keywords: smoke management, fire tests, fire ventilation of a staircase

Type of article: original scientific article

Received: 28.08.2019; **Reviewed:** 02.10.2019; **Accepted:** 02.10.2019;

Authors' ORCID IDs: G. Kubicki – 0000-0001-9782-4468; I. Tekielak-Skałka – 0000-0001-7152-8601; M. Cisek – 0000-0003-3828-2691;

Percentage contribution: G. Kubicki – 35%; I. Tekielak-Skałka – 35%; M. Cisek – 30%;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 6–20, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.1>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem badań była analiza rozprzestrzenia się dymu pod kątem oceny skuteczności różnych systemów oddymiania klatki schodowej. Założono, że działanie takiej instalacji powinno:

- zapobiegać zadymieniu części klatki schodowej, znajdującej się poniżej kondygnacji, na której zlokalizowany jest pożar,
- po odcięciu napływu dymu na klatkę schodową, oczyszczać tę przestrzeń z dymu w krótkim czasie – realizacja oddymiania klatki schodowej nie może prowadzić do znacznego wzrostu nadciśnienia w klatce schodowej.

Projekt i metody: Badania przeprowadzone zostały w 9-kondygnacyjnym budynku rzeczywistym. W ramach badań wykonano m.in. trzy prawdziwe pożary w pełnej skali. Każdy z pożarów inicjowany był w zaadaptowanym pomieszczeniu wyposażonym każdorazowo w identyczny zestaw mebli i elementów wyposażenia. Na klatce schodowej zainstalowano system oddymiania ze zmiennym dopływem powietrza uzupełniającego. Testy przeprowadzono dla następujących konfiguracji systemów oddymiania:

- naturalny układ oddymiania z naturalnym / grawitacyjnym powietrzem uzupełniającym;
- naturalny układ oddymiania z mechanicznym (stała wartość objętości 14000 m³/h) wlotem powietrza uzupełniającego;
- naturalny układ oddymiania ze zmiennym mechanicznym wlotem powietrza uzupełniającego.

Dodatkową zmienną było położenie drzwi między klatką schodową a mieszkaniem. Podczas testów rejestrowano: temperaturę (72 punkty pomiarowe), transmitancję światła (poziom zadymienia), różnicę ciśnień między klatką schodową a otoczeniem zewnętrznym oraz przepływ powietrza i dymu przez klapę dymu. Dodatkowo stale monitorowane były podstawowe parametry atmosferyczne (siła i kierunek wiatru, temperatura i wilgotność powietrza).

Wyniki: Wyniki badań wykazały wysoką wrażliwość grawitacyjnego systemu oddymiania na warunki otoczenia (zaobserwowano, że w niekorzystnych warunkach dym może opaść poniżej kondygnacji objętej pożarem). Najskuteczniejszą i najbardziej odporną na zakłócenia metodą oddymiania był mechaniczny dopływ powietrza. Pozwolił on na szybkie usunięcie dymu ze schodów oraz prawidłowe, stałe i właściwe ukierunkowanie przepływu. System ten nie dopuszczał do opadania dymu poniżej kondygnacji objętej pożarem, zaś regulacja wydajności w zależności od przepływu na klapie zabezpieczała przestrzeń klatki schodowej przed wzrostem nadciśnienia.

Wnioski: Najlepszą metodą oddymiania klatki schodowej jest zastosowanie klapy dymowej oraz mechanicznie regulowanego dopływu powietrza uzupełniającego na poziomie wyjścia z budynku.

Słowa kluczowe: kontrola rozprzestrzeniania się dymu, próby ogniowe, wentylacja pożarowa schodów

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 28.08.2019; **Zrecenzowany:** 02.10.2019; **Zatwierdzony:** 02.10.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: G. Kubicki – 0000-0001-9782-4468; I. Tekielak-Skałka – 0000-0001-7152-8601; M. Cisek – 0000-0003-3828-2691;

Procentowy wkład merytoryczny: G. Kubicki – 35%; I. Tekielak-Skałka – 35%; M. Cisek – 30%;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 6–20, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.1>;

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

Introduction

A fire is a serious threat to human health and life. Both fire, posing an immediate threat, as well as smoke are dangerous. Fire is a local threat and its spread can be limited by using appropriate construction barriers. Smoke can spread much further as a result of buoyancy. To reduce its spread, fire ventilation systems can be used.

Pressure differential systems (PDSs) are the best solutions for fire ventilation. They can be designed in accordance with the adequate standards [1] or [2]. There are many factors that influence PDS performance, like the stack effect, wind and the expansion of fire gases. Information about these factors is provided in [3]. Many articles show research and computational fluid dynamics (CFD) analyses of various pressure differential systems [4–5]. Most of them concern research in high-rise buildings where this solution is required. However, PDSs are not always required by local regulations, and if they are not required, they are not used.

In many countries, PDSs are not required for low- and mid-rise buildings (with a height not exceeding 25–30 m). In such buildings, local regulations allow for other solutions to be used, such as smoke ventilation systems. These are used in many countries, including Poland, Germany and Great Britain, and can be designed based on relevant documents [6–7], [9]. Smoke ventilation systems are simple in terms of their construction and can be used in buildings without corridors or vestibules,

Wstęp

Pożar stwarza duże zagrożenie dla zdrowia i życia człowieka. Niebezpieczeństwo stanowić może bezpośrednio ogień, jak również dym. Ogień jest zagrożeniem lokalnym, którego rozprzestrzenianie można ograniczyć odpowiednimi barierami konstrukcyjnymi. Dym – z uwagi na lotność – rozprzestrzenia się znacznie szybciej niż ogień. Można jednak temu zapobiec poprzez zastosowanie odpowiednich systemów wentylacji pożarowej.

Do najlepszych rozwiązań wentylacji pożarowej zaliczają się systemy różnicowania ciśnienia, projektowane zgodnie z właściwymi normami [1] lub [2]. Na ich skuteczność wpływa szereg istotnych czynników, takich jak ciąg kominowy, oddziaływanie wiatru czy rozprzestrzenianie gazów pożarowych. Czynniki te opisano szerzej w publikacji pt. *Principles of Smoke Management* [3]. Wyniki badań nad systemami różnicowania ciśnienia i analiz obliczeniowej dynamiki płynów przedstawiono w licznych artykułach [4–5]. Większość z nich dotyczy badań prowadzonych w wysokich budynkach, gdzie omawiane rozwiązanie jest nieodzowne. Lokalne przepisy prawne nie zawsze nakładają jednak obowiązek zastosowania systemu różnicowania ciśnienia, w związku z czym tam, gdzie nie ma takiego wymogu, rozwiązanie to nie jest wdrażane.

W wielu krajach systemy różnicowania ciśnienia nie są wymagane w odniesieniu do niskich i średnich budynków (o maksymalnej wysokości 25–30 m). Dopuszcza się dla nich zastosowanie innych rozwiązań, w tym systemów oddymiania. Są one wykorzy-

where entrances to apartments are located directly in the staircase. Such an architectural building layout is often used in Europe.

The basic element of this solution is one hole in the upper part of the staircase and another at the bottom. A staircase equipped with a smoke ventilation system may be partially filled with smoke during a fire. There are no requirements as to its functionality.

The smoke inside the staircase may not allow people staying in higher parts of the building to evacuate. Therefore, it is important to remove smoke from the staircase as fast as possible or to protect people on higher levels against smoke penetration into compartments. This action facilitates evacuation and rescue operations based on other strategies.

Natural smoke ventilation is the most common way of applying smoke ventilation in staircases. However, this solution is sensitive to exterior environmental factors. The most important factors which can influence the flow of smoke along vertical shafts include the buoyancy effect, the chimney effect and wind [3].

Although smoke ventilations systems are commonly used, they have not been well researched. Additionally, the majority of research results are based on small-scale or CFD research and the fire is frequently assumed to have occurred in the staircase [9], which should not happen in reality. Considering the above, full-scale research has been carried out to check the effectiveness of different smoke ventilation variants.

Theory

Fire development depends on many factors. The fire appears on one of the floors in a multi-storey building and its development should be limited to that level. Because the size of the affected space is limited, the course of the fire depends on the availability of both combustible materials and oxygen. Providing both factors leads to the development of a fire whereas a shortage of either of them is likely to lead to the fire being extinguished.

The fire generates high-temperature smoke and changes pressure inside the fire space. The phenomena that take place during a fire are well described in [3], with related equations presented below.

The change in pressure inside the room covered by the fire can be described by the equation:

$$\Delta p_{fo} = 3460 \cdot \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_f} \right) \cdot h \quad (1)$$

where:

h – distance from the neutral plane, m;

stywane w wielu krajach, w tym w Polsce, Niemczech i Wielkiej Brytanii. Mogą być one projektowane na podstawie odpowiednich dokumentów (zob. [6–7], [9]). System oddymiania jest prosty w budowie i znajduje zastosowanie w budynkach bez korytarzy i przedsionków, tam gdzie wejścia do mieszkań są zlokalizowane bezpośrednio na klatkach schodowych. Tego rodzaju układ architektoniczny jest dość powszechny w Europie.

Podstawowym elementem instalacji oddymiania są otwory w górnej i dolnej części klatki schodowej. Klatka schodowa wyposażona w taką instalację może być podczas pożaru częściowo wypełniona dymem. Dla systemu oddymiania nie określono w tym względzie konkretnych wymogów funkcjonalnych.

Dym wewnątrz klatki schodowej może przeszkodzić w ewakuacji osób znajdujących się w wyższych partiach budynku. Ważne jest zatem, aby proces oddymiania klatki schodowej przebiegał jak najszybciej. Alternatywnie, mieszkania znajdujące się na wyższych piętrach, należy zabezpieczyć przed wlotem dymu. Ułatwi to ewakuację osób lub zapewnienie im bezpieczeństwa w ramach innych strategii.

W odniesieniu do oddymiania klatek schodowych najczęstsze rozwiązanie stanowi oddymianie grawitacyjne. Jest ono jednak podatne na działanie zewnętrznych czynników środowiskowych. Najistotniejsze z nich, mogące rzutować na przepływ dymu w szybach wentylacyjnych, to: wypór powietrza (tzw. efekt kominowy) i oddziaływanie wiatru [3].

Chociaż systemy oddymiania stosuje się powszechnie, nie przeprowadzono na ich temat dokładnych badań. Większość dostępnych wyników uzyskano w badaniach realizowanych na małą skalę lub w badaniach dotyczących systemów różnicowania ciśnienia. Najczęściej przyjmowano założenie, że rozgorzenie pożaru następowało na klatce schodowej [9], co w rzeczywistości nie powinno mieć miejsca. W związku z tym przeprowadzono pełne badanie mające na celu zweryfikowanie skuteczności instalacji oddymiania w różnych wariantach.

Teoria

Rozwój pożaru zależy od wielu czynników. Pożar inicjowany jest na jednym z pięter budynku wielopiętrowego i należy ograniczyć jego zasięg do tego piętra. Ponieważ powierzchnia jest zamknięta, przebieg pożaru zależy od dostępności zarówno materiałów łatwopalnych, jak i tlenu. Jeżeli ogień będzie mieć do nich dostęp, pożar będzie się rozwijać. Z kolei niedobór któregoś z nich sprawi, że ogień stopniowo wygaśnie.

W wyniku pożaru powstają opary dymu o wysokiej temperaturze, zmienia się również ciśnienie wewnątrz zajętego ogniem pomieszczenia. Zjawiska zachodzące w trakcie pożaru zostały szerzej opisane w przywołanym wcześniej opracowaniu J. H. Klote'a i J. A. Milke'a [3] oraz wyrażone za pomocą równań poniżej.

Zmianę ciśnienia w pomieszczeniu zajęтым ogniem można opisać za pomocą wzoru:

$$\Delta p_{fo} = 3460 \cdot \left(\frac{1}{T_o} - \frac{1}{T_f} \right) \cdot h \quad (1)$$

gdzie:

h – odległość od neutralnej płaszczyzny, m;

T_o – external temperature, K;

T_f – temperature inside the room covered by the fire, K.

Additionally, the temperature rise is related to an increase in the volume of fire gases, which can be described by the equation:

$$\frac{V_{out}}{V_{inn}} = \frac{T_{out}}{T_{inn}} \quad (2)$$

where:

V_{out} – volume flow out of the space covered by the fire, m³/s;

V_{inn} – volume flow into the space covered by the fire, m³/s;

T_{out} – temperature of the smoke flow out of the space covered by the fire, K;

T_{inn} – temperature of the air flow into the space covered by the fire, K.

Due to the above factors, smoke obtains buoyancy causing it to spread across the building. In the case of multi-storey buildings, one of the basic directions of the smoke flow is its outflow from the room covered by the fire towards the staircase, especially once the door to the space covered by fire is opened by evacuees.

Additionally, the stack effect may affect smoke in the staircase:

$$\Delta p = p_s - p_0 = (\rho_o - \rho_s) \cdot g \cdot h \quad (3)$$

where:

ρ_o – density of the outdoor air, kg/m³;

ρ_s – density of the indoor air/smoke, kg/m³;

g – acceleration of gravity, m/s²;

h – height, m.

If there are holes in the façade in the staircase or a room covered by the fire, such as an open window, the wind will also have an impact on the spread of smoke in the building. This impact can be determined using the equation:

$$\Delta p_w = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot \rho_o \cdot U_H^2 \quad (4)$$

where:

Δp_w – wind pressure on the facade of the building, Pa;

C_w – dimensionless coefficient, -;

ρ_o – density of the outside air, kg/m³;

U_H – wind speed at the height of H, m/s.

The above-described factors will affect the direction of smoke movement in the building.

Aim of the research

The major aim of the research was to investigate how smoke would spread in the building in the case of a fire and how to protect staircases without PDSs. It was assumed that the ventilation system should:

1. Prevent the staircase from complete smokiness. The part of the staircase located below the level covered by the fire

T_o – temperatura na zewnątrz, K;

T_f – temperatura w pomieszczeniu zajęтым ogniem, K.

Ponadto wzrost temperatury wiąże się ze wzrostem objętości gazów pożarowych, którą można opisać za pomocą równania:

$$\frac{V_{out}}{V_{inn}} = \frac{T_{out}}{T_{inn}} \quad (2)$$

gdzie:

V_{out} – strumień objętościowy powietrza wywiewanego z pomieszczenia zajętego ogniem, m³/s;

V_{inn} – strumień objętościowy powietrza nawiewanego do pomieszczenia zajętego ogniem, m³/s;

T_{out} – temperatura strumienia dymu wywiewanego z pomieszczenia zajętego ogniem, K;

T_{inn} – temperatura strumienia powietrza nawiewanego do pomieszczenia zajętego ogniem, K.

Powyższe czynniki wpływają na lotność dymu i mogą sprawić, że rozprzestrzeni się on wewnątrz budynku. W przypadku budynków wielopięsownych jednym z podstawowych kierunków strumienia dymu jest jego przepływ z pomieszczenia zajętego ogniem na klatkę schodową, szczególnie gdy drzwi do pomieszczenia zostały otwarte przez ewakuujące się z niego osoby.

Na przepływ dymu w obrębie klatki schodowej może dodatkowo wpływać ciąg kominowy:

$$\Delta p = p_s - p_0 = (\rho_o - \rho_s) \cdot g \cdot h \quad (3)$$

gdzie:

ρ_o – gęstość powietrza na zewnątrz, kg/m³;

ρ_s – gęstość powietrza wewnątrz, kg/m³;

g – przyspieszenie grawitacyjne, m/s²;

h – wysokość, m.

Jeżeli w elewacji klatki schodowej lub pomieszczenia zajętego ogniem występują otwory (np. otwarte okno), wiatr będzie również przyczyniać się do rozprzestrzeniania się ognia wewnątrz budynku. Oddziaływanie tego czynnika można opisać za pomocą równania:

$$\Delta p_w = \frac{1}{2} \cdot C_w \cdot \rho_o \cdot U_H^2 \quad (4)$$

gdzie:

Δp_w – napór wiatru na elewację budynku, Pa;

C_w – współczynnik bezwymiarowy, -;

ρ_o – gęstość powietrza na zewnątrz, kg/m³;

U_H – prędkość wiatru na wysokości H, m/s;

Wyżej opisane czynniki będą wpływać na kierunek strumienia dymu wewnątrz budynku.

Cel badań

Głównym celem badań była analiza rozprzestrzeniania się dymu w budynku zajęтым ogniem pod kątem skuteczności oddymiania klatki schodowej, której nie wyposażono w system różnicowania ciśnienia. Założono, że instalacja oddymiania powinna:

1. Zapobiegać całkowitemu zadymieniu klatki schodowej. Część klatki schodowej zlokalizowana poniżej piętra zajęte-

should be smoke-free so as to allow the evacuation of people from fire compartments. This parameter was assessed on the basis of transmittance on the floor below the fire level (T1) where it should always be equal to 100%.

- Remove smoke from the staircase as fast as possible without causing a rise in the level of pressure in the staircase, which could lead to smoke being “pushed” from the staircase into adjacent spaces. The time required to remove smoke was measured from the moment of closing the door of the staircase on the fire level or from the moment the fire was extinguished. It was assumed that smoke should be removed from the staircase in time shorter than the product of 60 seconds and the number of floors above the fire level. It can be assessed by comparing the time required to increase transmittance on sensors T2 and T3. The distance between the two sensors was 1 storey, so the difference between the time needed to achieve the level of transmittance above 60% on each sensor should be shorter than 60 seconds. Additionally, it was assumed that the maximum level of pressure in the staircase should not exceed 5 Pa.

Tests were carried out for the smoke ventilation systems shown in Table 1. Real fires were carried out in order to compare the above system.

go ogniem powinna być na tyle wolna od dymu, aby możliwa była ewakuacja osób znajdujących się w strefach pożarowych. Parametr ten oceniono na podstawie obserwacji transmitancji na piętrach poniżej poziomu zajętego ogniem (T1) przy założeniu, że powinna ona zawsze wynosić 100%.

- Umożliwić jak najszybsze usunięcie dymu z klatki schodowej, zapobiegając przy tym wzrostowi poziomu ciśnienia, co mogłoby skutkować „wypchnięciem” dymu z klatki schodowej na sąsiednie pomieszczenia. Czas oddymiania mierzony był od chwili zamknięcia drzwi na klatce schodowej na piętrze zajęтым ogniem lub od chwili zgaszenia pożaru. Przyjęto, że proces oddymiania klatki schodowej powinien zakończyć się w czasie krótszym niż 60 s pomnożonym przez liczbę pięter powyżej poziomu zajętego ogniem. Zakłada się, że czas ten będzie porównywalny do czasu wymaganego do zwiększenia transmitancji w obrębie czujników T2 i T3. Odległość pomiędzy czujnikami wynosiła 1 piętro, a zatem różnica pomiędzy czasem potrzebnym na osiągnięcie transmitancji na poziomie 60% w obrębie każdego z czujników powinna być mniejsza niż 60 s. Ponadto założono, że ciśnienie na klatce schodowej nie powinno przekraczać 5 Pa.

Badania przeprowadzono dla instalacji oddymiania wymienionych w tabeli 1. W celu porównania powyższych instalacji przeprowadzono trzy pożary eksperymentalne.

Table 1. Smoke ventilation systems under consideration
Tabela 1. Instalacje oddymiania objęte analizą

Nr. Lp.	Smoke vent Kłapa dymowa	Air inlet Wlot powietrza	Door position on the floor covered by the fire Pozycja drzwi na piętrze zajęтым pożarem
1	1.2 x 1.5 m on the roof (A = 1.8 m ²) / 1,2 x 1,5 m na dachu (A = 1,8 m ²)	open door 1.2 x 2.05 m, (natural ventilation) / otwarte drzwi 1,2 x 2,05 m (naturalna wentylacja)	open all the time after evacuation / otwarte przez cały czas po zakończeniu ewakuacji
2	1.2 x 1.5 m on the roof (A = 1.8 m ²) / 1,2 x 1,5 m na dachu (A = 1,8 m ²)	constant inlet of the air 14 000 m ³ /h ciągły wlot powietrza 14 000 m ³ /h	open all the time after evacuation / otwarte przez cały czas po zakończeniu ewakuacji
3	2 x smoke vent in wall (A = 2.32 m ²) / 2 x kłapa dymowa w ścianie (A = 2,32 m ²)	mechanically adjusted* make up air supply / mechaniczny* wlot powietrza uzupełniającego	door with an automatic door closer, closed after evacuation / drzwi z układem automatycznego zamykania, zamknięte po zakończeniu ewakuacji

* The volume flow rate was variable, depending on the flow through the smoke vent. The goal was to maintain a constant flow through the smoke vent on the roof, equal to 14 000 m³/h.

* Zmienna wartość objętościowego strumienia powietrza zależna od przepływu powietrza przez klapę dymową. Dążono do utrzymania stałego przepływu powietrza przez klapę na dachu na poziomie 14 000 m³/h.

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Experimental Set-Up

Research was conducted in a full-scale, 9-storey building made of reinforced concrete. The tested staircase had two internal and two external walls. The staircase width was 3.6 m and its length was 5.4 m. A single storey (from one floor to the next floor) had a height of 3.35 m. The full height of the staircase was about 33 m. There were two windows on each floor of the

Warunki eksperymentu

Badania przeprowadzono w rzeczywistym, 9-kondygnacyjnym budynku żelbetonowym. Klatka schodowa o szerokości 3,6 m i długości 5,4 m posiadała dwie wewnętrzne i dwie zewnętrzne ściany. Wysokość jednego piętra wynosiła 3,35 m, zaś wysokość całej klatki schodowej ok. 33 m. Na każdym poziomie klatki schodowej znajdowały się dwa okna od stro-

staircase, directed to the east. There was one door located on each floor of the staircase. The door on the 4th floor had a width of 1.0 m and a height of 2.05 m. The test room was located on the 4th floor and its dimensions were as follows: 5.7 m (width), 5.8 m (length) and 2.55 m (the main height). The height of the test room was greater near the external wall with windows. Specifically, at a distance of 1.1 m from the windows, the height of the room was 2.77 m. There was a corridor between the test room and the staircase. The corridor was 2.0 m wide and approx. 10 m long. On the ground floor, there was another short corridor placed between the staircase and the exit from the building. On the ground floor, both the door from the staircase to the corridor and the exit door from the building had a width of 1.2 m and a height of 2.05 m.

ny wschodniej, a także jedna para drzwi. Drzwi na IV piętrze, na którym zlokalizowane było pomieszczenie zajęte ogniem, miały 1,0 m szerokości i 2,05 m wysokości. Wymiary pomieszczenia testowego wynosiły: 5,7 m szerokości, 5,8 m długości i 2,55 m wysokości głównej. Pomieszczenie to było wyższe przy zewnętrznej ścianie z oknami. W odległości 1,1 m od okien wysokość pomieszczenia wynosiła 2,77 m. Od klatki schodowej pomieszczenie oddzielał korytarz o szerokości 2,0 m i długości ok. 10 m. Na parterze znajdował się kolejny, krótki korytarz, oddzielający klatkę schodową od wyjścia z budynku. Zarówno drzwi prowadzące z klatki schodowej na korytarz na parterze, jak i drzwi wyjściowe z budynku miały szerokość 1,2 m i wysokość 2,05 m.



Figure 1. The test building

Rycina 1. Budynek, w którym przeprowadzono badania

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The following parameters were measured during the tests (locations of the measurement points were shown in Figure 2):

- (TP, TD) – smoke temperature. The temperature was measured in the middle of the test room at a height of 2.4 m. The temperature at the door opening was measured at a height of 1.8 at half of the width of the door;
- external air temperature;
- (T1, T2, T3, T4) the light transmittance of the air and smoke in the staircase – four light transmittance measurement points were located in the staircase on floors 3, 4, 5, and 7.

Podczas badań rejestrowano następujące parametry (lokacje punktów pomiarowych przedstawiono na rycinie 2):

- (TP, TD) – temperatura dymu. Pomiar temperatury prowadzono w środkowej części pomieszczenia testowego na wysokości 2,4 m. Pomiar temperatury w otworze drzwiowym odbywał się na wysokości 1,8 m w połowie szerokości drzwi;
- temperatura powietrza na zewnątrz;
- (T1, T2, T3, T4) transmittancja światła dla powietrza i dymu na klatce schodowej – cztery punkty pomiaru transmittancji

The measurements were performed at a height of 1.8 m, and at a distance of 1.1 m from the exterior wall (the wall with windows). Light transmittance was measured using laser photometers;

- (V sv) – air and smoke flow through the smoke vent (in the wall or on the roof);
- (V fan) – air flow through the fan;
- (Δp) – pressure difference between the staircase and the outside, in the higher part of the staircase.

cji zlokalizowano na klatce schodowej na poziomach 3, 4, 5 i 7. Pomiary prowadzono na wysokości 1,8 m w odległości 1,1 m od ściany zewnętrznej (ściany z oknami). W pomiarach transmitancji światła użyto fotometrów laserowych;

- (V sv) – przepływ powietrza i dymu przez klapę dymową (w ścianie lub na dachu);
- (V fan) – przepływ powietrza przez wentylator;
- (Δp) – różnica pomiędzy ciśnieniem na klatce schodowej a ciśnieniem na zewnątrz w wyższej części klatki schodowej.

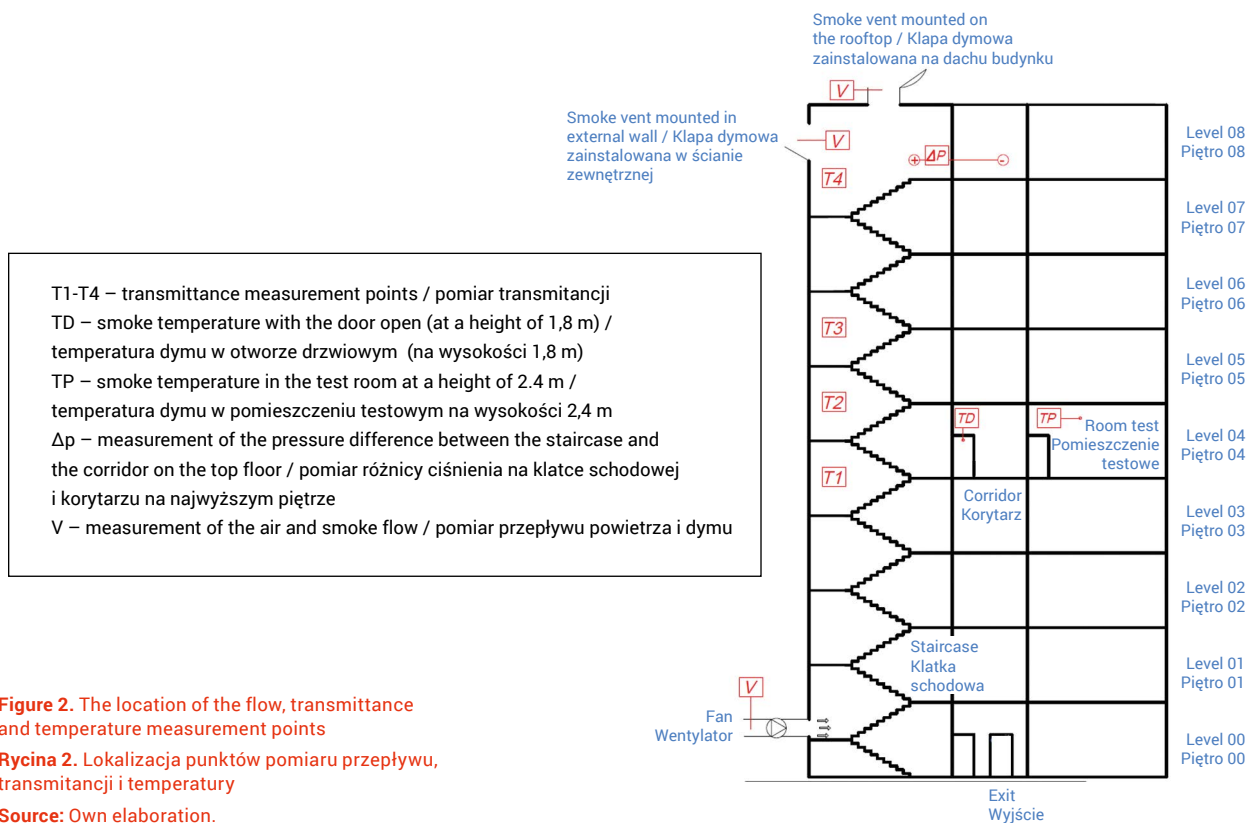


Figure 2. The location of the flow, transmittance and temperature measurement points

Rycina 2. Lokalizacja punktów pomiaru przepływu, transmitancji i temperatury

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Additionally, a weather station was installed on the roof of the building to measure the speed and direction of wind.

Na dachu budynku zainstalowano stację pogodową, za pośrednictwem której prowadzono pomiar prędkości i kierunku wiatru.

Experimental Procedure

Three real fires were carried out. The typical furniture was used as fuel. The list of materials used for each test is shown in the Table 2.

All doors to the staircase were closed at the beginning of every test. Every device used as part of the smoke management system was turned off before each test. During tests 1 and 2, it was assumed that the staircase door on the 4th floor (the fire area) would remain open till the end of the tests. During test 3, it was assumed that the staircase door on the 4th floor (the fire area) would be opened and closed 5 times. The time of opening

Przebieg eksperymentu

Przeprowadzono trzy pożary w skali rzeczywistej. Pomieszczenia testowe wyposażono w typowe zestawy mebli. Tabela 2 zawiera wykaz materiałów użytych w każdym z testów.

W momencie rozpoczęcia każdego testu wszystkie drzwi na klatce schodowej były zamknięte. Przed każdym testem wszystkie urządzenia w obrębie instalacji kontroli rozprzestrzeniania się dymu były wyłączone. W ramach testów nr 1 i 2 założono, że drzwi prowadzące na klatkę schodową na IV piętrze (obszar objęty ogniem) pozostaną otwarte aż do zakończenia badań. W ramach testu nr 3 przyjęto, że drzwi prowadzące na klatkę

and closing of the door on the 4th floor was shown on the figures below. In each tests, the door on the 4th floor (the fire area) was first opened approximately five minutes after the start of the fire. During each test, it was assumed that smoke ventilation of the staircase would be activated after smoke detection by the smoke detection system. Depending on the test, smoke detection took place between 120 and 180 seconds after the start of the fire.

schodową na IV piętrze (obszar objęty ogniem) będą otwierane i zamykane pięciokrotnie. Czas otwarcia i zamknięcia drzwi na IV piętrze został przedstawiony na poniższych rycinach. Podczas każdego z testów drzwi na IV piętrze (obszar objęty ogniem) zostały po raz pierwszy otwarte ok. 5 min po wybuchu pożaru. W ramach każdego z testów założono, że oddymianie klatki schodowej rozpocznie się po wykryciu dymu przez instalację wykrywania dymu. W zależności od testu nastąpiło to pomiędzy 120. a 180. sekundą od wybuchu pożaru.

Table 2. The list of materials used for each fire test

Tabela 2. Wykaz materiałów użytych w każdym z testów pożarowych

No. Lp.	Article Artykuł	Quantity Ilość	Material Materiał
1	small set of kitchen furniture mały zestaw mebli kuchennych	1	MDF board plyta MDF
2	sink / zlew	1	steel / stal
3	faucet / kran	1	brass / mosiądz
4	cooker / kuchenka	1	steel/glass stal/szkło
5	table / stół	1	pine timber / drewno sosnowe
6	chair / krzesło	4	pine timber / drewno sosnowe
7	sofa bed / kanapa	1	fabric / foam / HDF board tkanina / pianka / płyta HDF
8	coffee table / ława	1	MDF board / płyta MDF
9	chest of drawers / komoda	4	MDF board / płyta MDF
10	chest of drawers (with baskets) komoda z koszami	1	wood / cotton / polyester / MDF Board drewno / bawełna / poliester / płyta MDF
11	hassock / puf	2	fabric / polyester / MDF Board tkanina / poliester / płyta MDF
12	pillow / poduszka	4	polyester / poliester
13	blanket / koc	1	polyester / poliester
14	carpet / dywan	1	polypropylene / latex polipropylen / lateks
15	curtain / zasłona	1	polyester / nylon poliester / nylon
16	cornice / karnisz	2	steel / stal
17	rack / wieszak	1	wood / drewno
18	lamp / lampa	1	paper/ steel / glass papier / stal / szkło
19	floor lining (36 m ²) / wykładzina podłogowa (36 m ²)	1	PVC / PCV

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

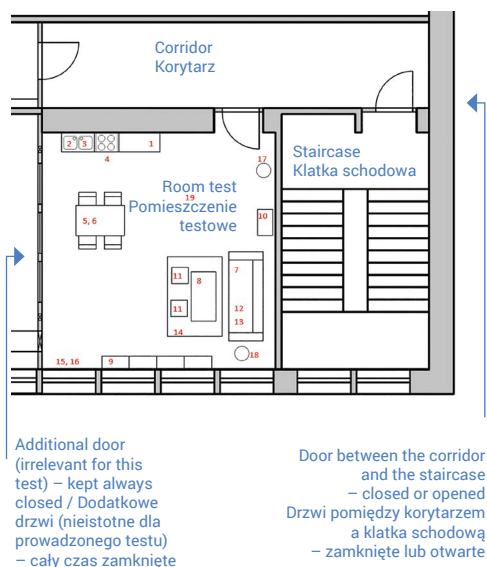


Figure 3. The plan of the 4th floor of the building (including the test room and the corridor)

Rycina 3. Rzut IV piętra budynku (obejmujący pomieszczenie testowe i korytarz)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Success Criteria

- The following parameters were assessed during the tests:
- checking if the smoke would fall below the level covered by the fire. It was desirable that smoke would not be below this level;
 - checking the level of pressure in the staircase above the level covered by the fire;
 - determining the time required to remove smoke from the staircase.

The assessment criteria were further described in Aim of the research section.

Results

The results of the tests are presented below. In test 1, the fire was put out after 10 minutes to prevent flashover. In test 2, flashover occurred after about 10 minutes and the fire was put out after about 22 minutes. In test 3, there was no flashover and the fire was put out after about 25 minutes.



Figure 4. A view of the room 2 minutes after starting fire test 1
Rycina 4. Wygląd pomieszczenia 2 min po rozpoczęciu testu pożarowego nr 1

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Kryteria powodzenia

- Podczas każdego z testów oceniano następujące parametry:
- sprawdzenie, czy dym opada poniżej poziomu zajętego pożarem. Pożądana była sytuacja, w której dym nie znajduje się poniżej tego poziomu;
 - sprawdzenie poziomu ciśnienia na klatce schodowej powyżej poziomu zajętego ogniem;
 - czas potrzebny na oddymienie klatki schodowej.
- Kryteria oceny opisano we wcześniejszej sekcji: Cel badań.

Wyniki

Podczas testu nr 1 ogień zgaszono po 10 min, aby zapobiec przeskokowi płomieni do sąsiednich pomieszczeń. Podczas testu nr 2 po ok. 10 min nastąpił przeskok płomieni do sąsiednich pomieszczeń. Ogień zgaszono po ok. 22 min. Podczas testu nr 3 nie nastąpił przeskok płomieni do sąsiednich pomieszczeń. Ogień zgaszono po ok. 25 min.



Figure 5. A view of the room 6 minutes after starting fire test 1 (all the tests looked similar)

Rycina 5. Wygląd pomieszczenia 6 min po rozpoczęciu testu pożarowego nr 1 (wszystkie testy przebiegały podobnie)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

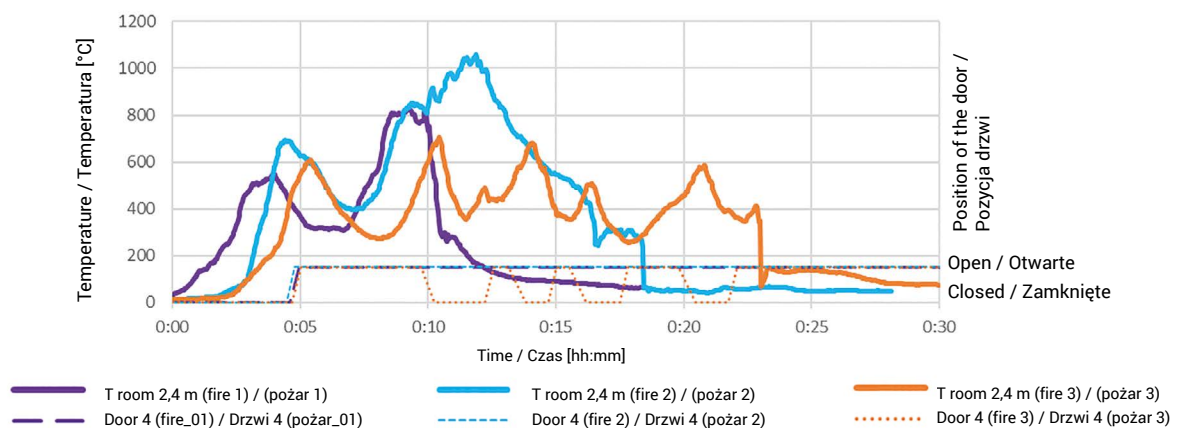


Figure 6. Door position and smoke temperature (T) measured on the measurement point located above the sofa at height of 2.4 m

Rycina 6. Pozycja drzwi i temperatura dymu (T) zarejestrowane w punkcie pomiarowym zlokalizowanym nad kanapą na wysokości 2,4 m

Source: Own elaboration/**Źródło:** Opracowanie własne.

Figures 7 and 8 show that during the initial phase of all fire tests, the increase in smoke temperature had a similar characteristic. It was associated with the combustion process of the backrest and seat of the sofa. The further development of the fire depended on the amount of oxygen in the room. A fast temperature increase, observed during tests 1 and 2 (a continuous air inflow to the room in which the fire was located), can lead to flashover in 10 to 15 minutes. Once this phenomenon occurs, the inflow of large amounts of hot smoke to the staircase is expected. A higher temperatures of fire gases is conducive to a higher efficiency of the natural smoke exhaust. In other conditions that occurred during test 3 (a periodical air inflow to the room), the smoke in the staircase may have a much lower temperature, which means worse conditions for the operation of natural smoke ventilation systems.

Ryciny 7 i 8 pokazują, że w pierwszej fazie wszystkich testów pożarowych charakterystyka wzrostu temperatury dymu była podobna, co wynikało z procesu spalania oparcia i siedziska kanapy. Dalszy rozwój pożaru zależał od ilości tlenu dostępnej w pomieszczeniu. Szybki wzrost temperatury obserwowany podczas pożarów nr 1 i 2 (ciągły napływ powietrza do pomieszczenia, w którym zlokalizowany był pożar) może skutkować przeskokiem płomieni do sąsiednich pomieszczeń w ciągu 10–15 min. Kiedy to nastąpi, należy oczekiwać napływu dużej ilości gorącego dymu na klatkę schodową. Wyższa temperatura gazów pożarowych koreluje z wyższą wydajnością naturalnego wyciągu dymu. W odmiennych warunkach, jakie wystąpiły przy pożarze nr 3 (okresowy napływ powietrza do pomieszczenia), dym na klatce schodowej mógł mieć znacznie niższą temperaturę, co oznacza gorsze warunki działania instalacji naturalnego oddymiania.

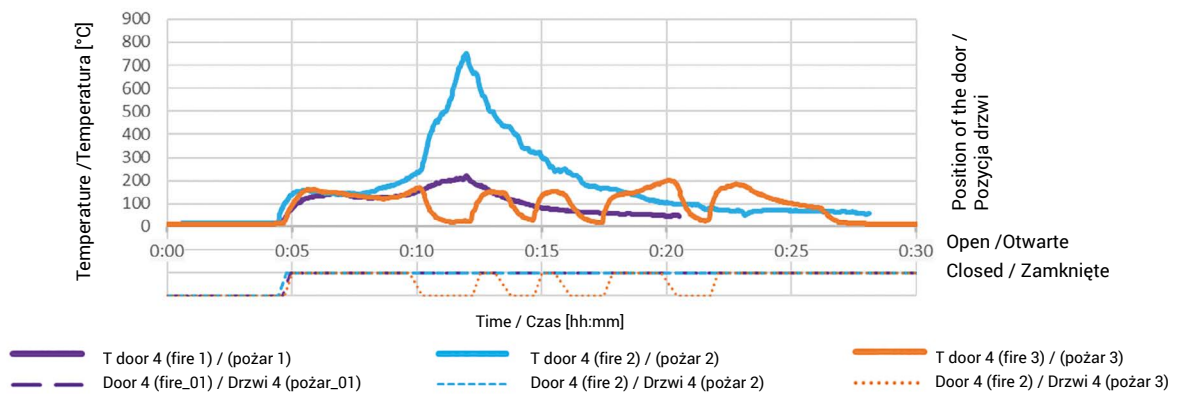


Figure 7. Door position and smoke temperature (T) measured on the measurement point located at the door at a height of 1.8 m
Rycina 7. Pozycja drzwi i temperatura dymu (T) zarejestrowane w punkcie pomiarowym zlokalizowanym w drzwiach na wysokości 1,8 m
Source: Own elaboration/Źródło: Opracowanie własne.

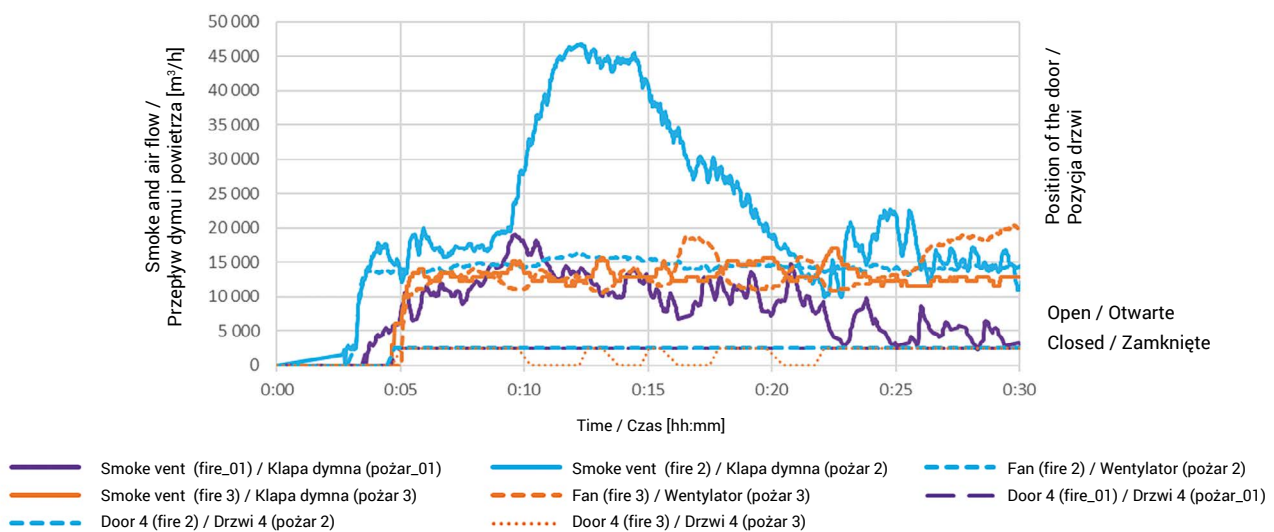


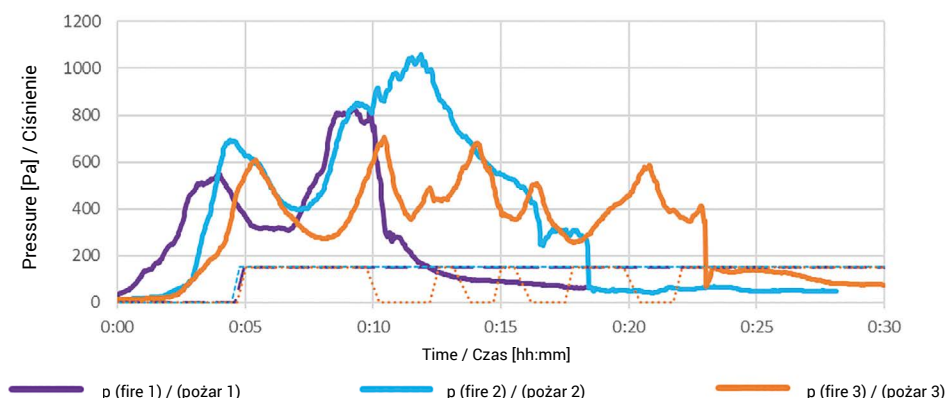
Figure 8. Smoke flow through the smoke vent and air supply flow (if a fan was used)
Rycina 8. Przepływ powietrza przez kłapę dymową i przepływ powietrza nawiewanego (w przypadku użycia wentylatora)
Source: Own elaboration/Źródło: Opracowanie własne.

Figure 8 presents the observed dependence between the amount of smoke flowing through the smoke removal device and the type of the smoke removal system, and the fire phase. Fire 1 (the violet line) illustrates the flow through the smoke damper of the natural system with a continuous inflow hot smoke to the staircase. During fire 2, the accumulation of smoke generated during the fire and the make-up air with constant efficiency occurred. The smoke ventilation system supported by variable make-up air supply, as used during fire 3, allowed keeping the flow through the smoke removal device at a constant level. The flow through the smoke removal device was in this case very similar to the flow recorded for the natural system.

Maintaining a constant flow through the smoke ventilation device at a controlled level is necessary for maintaining the overpressure in the staircase space at a level not exceeding 5 Pa. The accumulation of fire gases, which occurred during fire 2, increased the pressure near the measurement point to above 20 Pa (Figure 9). In such conditions, there was a risk of smoke being “pushed” from the staircase into adjacent rooms.

Rycina 8 przedstawia zależność pomiędzy ilością dymu przepływającego przez urządzenie oddymiające, rodzajem instalacji oddymiającej a fazą pożaru. Pożar nr 1 (linia fioletowa) ilustruje przepływ dymu przez klapę dymową stanowiącą element instalacji naturalnego oddymiania przy ciągłym napływie gorącego dymu na klatkę schodową. Podczas pożaru nr 2 nastąpiła akumulacja dymu wytworzonego podczas pożaru i powietrza uzupełniającego o stałej wydajności. Instalacja oddymiająca ułatwiła wlot zmiennych ilości powietrza uzupełniającego podczas pożaru nr 3, co pozwoliło utrzymać stały poziom przepływu dymu przez urządzenie oddymiające. Przepływ dymu był w tym przypadku zbliżony do strumienia, jaki zarejestrowano dla instalacji naturalnego oddymiania.

Utrzymanie przez urządzenie oddymiające stałego przepływu na kontrolowanym poziomie jest niezbędne w kontekście zapobiegania wzrostowi ciśnienia w obrębie klatki schodowej powyżej 5 Pa. Akumulacja gazów pożarowych, która miała miejsce podczas pożaru nr 2, skutkowała wzrostem ciśnienia w pobliżu punktu pomiarowego do ponad 20 Pa (ryc. 9). W takich warunkach istnieje ryzyko „wypchnięcia” dymu z klatki schodowej do sąsiednich pomieszczeń.



* Flash over occurred during fire 2, and measurement equipment was damaged after 11 minutes.

* Przeskok płomieni do sąsiednich pomieszczeń wystąpił podczas pożaru nr 2; urządzenia pomiarowe uległy zniszczeniu po 11 min.

Figure 9. Pressure in the upper part of the staircase

Rycina 9. Ciśnienie w górnej części klatki schodowej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

An important aspect related to each of the smoke exhaust solutions tested is the time of the staircase clearance from smoke, determined on the basis of the light transmittance measurement (Figure 10).

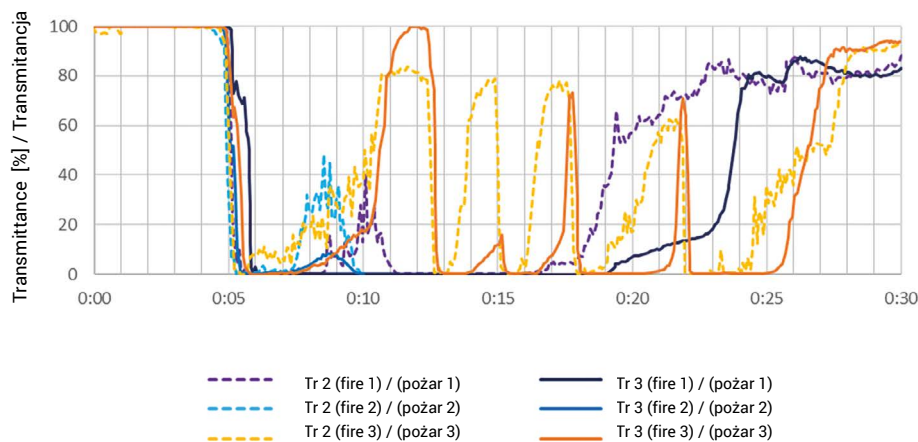
The door to the staircase was opened all the time during test 1. The fire was put out after 18 minutes and the time required to remove smoke was measured from that moment. The level of transmittance at 60% was achieved after 20 minutes on sensor Tr2, while on sensor Tr3 it took 23 minutes 50 seconds. The time required to remove smoke from one floor was 3 minutes 50 seconds.

During test 3, the door on the 4th floor was opened and closed several times. The results presented in the figure show

Przy zastosowaniu każdego z systemów odprowadzania dymu przeanalizowanych w badaniach, ważnym aspektem jest czas potrzebny do oddymienia klatki schodowej, określony na podstawie pomiaru transmitancji światła (ryc. 10).

W przypadku pożaru nr 1 drzwi prowadzące na klatkę schodową pozostawały przez cały czas otwarte. Czas potrzebny do oddymienia mierzono od chwili zgaszenia ognia, co nastąpiło po 18 min od rozpoczęcia eksperymentu. Transmitancję na poziomie 60% zarejestrowano po 20 min na czujniku Tr2 oraz po 23 min 50 s na czujniku Tr3. Czas niezbędny do oddymienia jednej kondygnacji wyniósł 3 min 50 s.

Podczas pożaru nr 3 drzwi na IV piętrze były otwierane i zamykane kilkakrotnie. Wyniki przedstawione na rycinie ukazują czasy



* Flash over occurred during fire 2, and measurement equipment was damaged after 11 minutes.

* Przeskok płomieni do sąsiednich pomieszczeń wystąpił podczas pożaru nr 2; urządzenia pomiarowe uległy zniszczeniu po 11 min.

Figure 10. Measurement of light transmittance above the level covered by the fire

Rycina 10. Pomiar transmitancji światła powyżej poziomu zajętego pożarem

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

the smoke clearance times obtained after each door closing. The measurements showed that during the five-time closing of the door, the time of smoke cleaning in four cases was in the range of 25–60 s. In one case, this time was longer.

Initially, the smoke moved down the staircase due to its low temperature during test 1. Then, it began to flow up as a result of the increasing power of the fire (an increase in the temperature of smoke flowing into the staircase). The phenomenon of the smoke flowing down was not observed during test 3 (100% transmittance).

A higher effectiveness of mechanical solutions compared to the natural smoke control system can be observed. The difference in effective protection against smoke falling can also

oddymienia uzyskane po każdorazowym zamknięciu drzwi. Jak wynika z pomiarów, podczas pięciokrotnego zamykania drzwi czas potrzebny do oddymienia w czterech przypadkach wynosił 25–60 s. W jednym przypadku czas ten był dłuższy.

W pożarze nr 1 dym początkowo przemieszczał się w dół klatki schodowej z uwagi na niską temperaturę. W miarę rozwoju pożaru kierunek przepływu się odwrócił (wskutek wzrostu temperatury dymu napływającego na klatkę schodową). Zjawiska przemieszczania się dymu w dół klatki schodowej nie zaobserwowano podczas pożaru nr 3 (transmittancja na poziomie 100%).

Porównując rozwiązania mechaniczne z instalacją naturalnego oddymiania, odnotowano ogólnie wyższą wydajność tych pierwszych. Różnice pod względem skuteczności ochrony przed

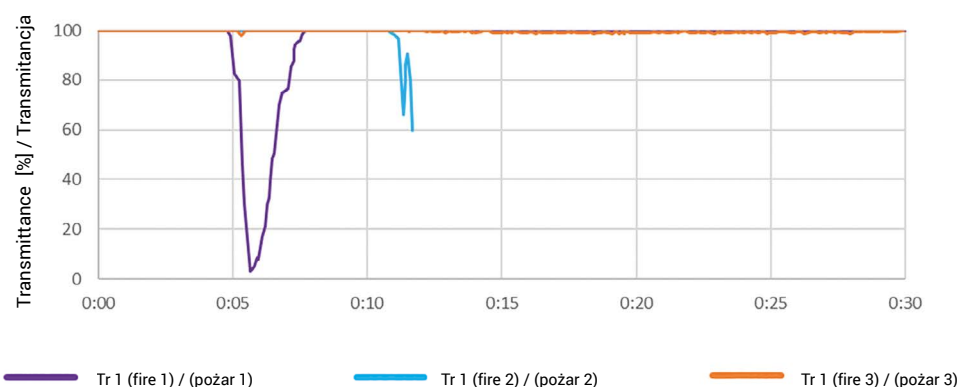


Figure 11. Measurement of light transmittance below the level covered by the fire

Rycina 11. Pomiar transmitancji światła poniżej poziomu zajętego pożarem

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

be seen in Figure 12. The smoke exhaust system assisted by mechanical ventilation, regardless of the temperature of smoke, keeps smoke above the storey on which the fire is located (photo on the right). Natural smoke removal at lower smoke temperatures does not prevent it from falling to lower floors (photo on the left).

naporem dymu można zaobserwować na rycinie 12. System odprowadzania dymu w połączeniu z wentylacją mechaniczną, niezależnie od temperatury dymu, pozwala utrzymać dym ponad piętrzem, na którym zlokalizowany jest pożar (zdjęcie po prawej). Przy niższych temperaturach dymu instalacja naturalnego oddymiania nie zapobiega jego opadaniu na niższe piętra (zdjęcie po lewej).



Figure 12. Smoke in the staircase during test 1 (left side) and test 2 (right side), 45 and 75 seconds after opening the door

Rycina 12. Widok dymu na klatce schodowej podczas testu nr 1 (po lewej) i testu nr 2 (po prawej) odpowiednio 45 i 75 sekund po otwarciu drzwi

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Discussion

The conducted research enabled tracking the development of a fire and smoke spreading inside the staircase equipped with various ventilation systems. The following observations were made:

- If there is a permanent supply of air to the fire through the open door, it leads to the fire development, and possibly to flashover (fire 2). If the door to the space covered by fire is closed (fire 3), the temperature above the fire and, therefore its power, is reduced;
- Before the flashover, the temperature of smoke flowing to the staircase was to 200°C (fire 1, fire 2, fire 3). After the flashover, the temperature was higher and achieved the level of 700°C (fire 2). The inflow of hot smoke and the inlet of a constant amount of air to the staircase led

Omówienie wyników

Przeprowadzone badania pozwoliły na przeanalizowanie rozwoju pożaru oraz rozprzestrzeniania się dymu na klatce schodowej wyposażonej w różne instalacje wentylacyjne. Zaobserwowano, że:

- Stały napływ powietrza do pomieszczenia zajętego ogniem przez otwarte drzwi prowadzi do rozwoju pożaru i może skutkować przeskokiem płomieni do sąsiednich pomieszczeń (pożar nr 2). W przypadku zamknięcia drzwi do pomieszczenia zajętego pożarem (pożar nr 3) temperatura powyżej linii ognia, a tym samym jego siła, ulegają obniżeniu.
- Przed przeskokiem płomieni do sąsiednich pomieszczeń temperatura dymu napływającego na klatkę schodową wynosiła do 200°C (pożar nr 1, pożar nr 2, pożar nr 3). Po prze-

to a pressure increase in the staircase above the level covered by the fire (fire 2). The outflow of hot fire gases and the supply of a constant amount of air led to a pressure increase in the staircase above the fire level (fire 2). During test 2, the pressure increased to +20 Pa and such a value can lead to smoke being “pushed” into adjacent spaces.

- Test 1 showed that the smoke fell below the level covered by the fire at the beginning of the test, when it was cold and did not have the buoyancy force. Only the intense development of the fire directed the flow up the staircase. It can be assumed that, in the case of closing the door between the staircase and the fire area, the smoke would remain on the staircase for a long time. The use of a natural smoke control system consisting of a smoke vent in the roof and opening the door on the ground level would not be effective in the case of cold smoke.
- The speed at which smoke was removed from the staircase was assessed after putting out the fire. The assessment was carried out for the level of transmittance equal to 60%. Fire 1 was put out after 10 minutes, and the level of 60% transmittance was reached after 19 minutes on sensor Tr2 and after 23 minutes on sensor Tr3. Fire 3 was put out after 25 minutes, and the level of 60% transmittance was reached after 26 minutes and 30 seconds on sensor Tr2 and after 27 minutes and 20 seconds on sensor Tr3. Smoke was removed 4 times faster in test 3 than in test 1.
- During tests 1 and 3, the level of pressure did not exceed 5 Pa. Only during test 2, the pressure level exceeded 20 Pa.

Conclusions

The conducted tests lead to the conclusion that the best solution to protect staircases without PDSs would be to use a smoke ventilation system made of a smoke vent mounted at the top of the building and mechanically adjusted make up air supply on the ground level.

Acknowledgements

This work was supported by the SMAY Sp. z o. o., Poland (project ‘bezpiecznaewakuacja.pl’). The project also involved fire safety specialists from the Scientific and Research Center for Fire Protection – National Research Institute, the Faculty of Building Services, Hydro and Environmental Engineering at the Warsaw University of Technology, the Silesian University of Technology, the Main School of Fire Service in Warsaw, and an independent group of scientists.

skoku płomieni nastąpił wzrost temperatury do 700°C (pożar nr 2). Napływ gorącego dymu w połączeniu z wlotem stałych ilości powietrza na klatkę schodową spowodował wzrost ciśnienia na klatce schodowej powyżej piętra zajętego ogniem (pożar nr 2). Odpływ gorących gazów pożarowych w połączeniu z napływem stałych ilości powietrza skutkowało z kolei wzrostem ciśnienia na klatce schodowej powyżej piętra zajętego ogniem (pożar nr 2). Podczas testu ciśnienie wzrosło powyżej 20 Pa. Tak wysokie ciśnienie może skutkować „wypchnięciem” dymu do sąsiednich pomieszczeń.

- Podczas testu nr 1 stwierdzono, iż początkowo dym opadł poniżej piętra zajętego ogniem, z uwagi na niską temperaturę i brak lotności. Zmiana kierunku przepływu dymu nastąpiła dopiero, gdy pożar znacznie się rozwinął. Można założyć, że w przypadku zamknięcia drzwi pomiędzy klatką schodową a obszarem objętym ogniem dym przez długi czas utrzymałby się wewnątrz klatki schodowej. Zastosowanie instalacji naturalnego (grawitacyjnego) oddymiania z klapą dymową zlokalizowaną na dachu i otwarciu drzwi na parterze nie stanowi skutecznego rozwiązania, gdy mamy do czynienia z zimnym dymem.
- Czas niezbędny do oddymiania klatki schodowej liczone od momentu wygaszenia pożaru, przyjmując jako wyznacznik transmitancję na poziomie 60%. W przypadku pożaru nr 1 ogień zgaszono po 10 min, zaś transmitancję na poziomie 60% uzyskano po 19 min w obrębie czujnika Tr2 i po 23 min na czujniku Tr3. W przypadku pożaru nr 3 ogień zgaszono po 25 min, a transmitancję na poziomie 60% uzyskano po 26 min 30 s w obrębie czujnika Tr2 i po 27 min 20 s na czujniku Tr3. Podczas testu nr 3 oddymianie nastąpiło cztery razy szybciej niż podczas testu nr 1.
- W trakcie pożarów nr 1 i 3 ciśnienie nie przekroczyło 5 Pa, zaś podczas pożaru nr 2 jego wartość przekroczyła 20 Pa.

Wnioski

W wyniku przeprowadzonych testów stwierdzono, iż najskuteczniejszym rozwiązaniem w kontekście oddymiania klatki schodowej niewyposażonej w system różnicowania ciśnienia jest użycie klapy dymowej zlokalizowanej na dachu w połączeniu z mechanicznym wlotem powietrza uzupełniającego, umiejscowionym na parterze.

Podziękowania

Badanie zrealizowano przy wsparciu SMAY Sp. z o.o., Polska (projekt bezpiecznaewakuacja.pl). W projekcie wzięli także udział specjaliści z zakresu bezpieczeństwa pożarowego z następujących instytucji: Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy, Wydział Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej, Politechnika Śląska i Szkoła Główna Służby Pożarniczej, oraz niezależna grupa naukowców.

Literature/Literatura

- [1] NFPA 92 Standard for Smoke Control Systems.
- [2] PN-EN 12101-6:2007 Smoke and heat control systems - Part 6: Specification for pressure differential systems – Kits.
- [3] Klote J. H., and Milke J. A., *Principles of Smoke Management*, ASHREA, Atlanta 2002.
- [4] Bellido C., Quiroz A., Panizo A., Torero J. L., *Performance Assessment of Pressurized Stairs in High Rise Buildings*, "Fire Technology" 2009, 45, 189–200, <https://doi.org/10.1007/s10694-008-0078-0>.
- [5] Acikyol B. H., Kilic A., Balik G., *Experimental Investigation of the Effect of Fire Protection Lobby on Stair Pressurization System in a High-Rise, Building*, "Fire Technology" 2017, 53, 135–151, <https://doi.org/10.1007/s10694-015-0560-4>.
- [6] VdS 2221:2007-06 VdS Richtlinien für Entrauchungsanlagen in Treppentraumen (ETA) – Planung und Einbau.
- [7] PN-B 02877 Ochrona przeciwpożarowa budynków – Instalacje grawitacyjne do odprowadzania dymu i ciepła – Zasady projektowania.
- [8] Smardz P., *Staircase fire ventilation in middle-high buildings in Europe*, Scientific-Technical Seminar in Zakopane, Poland 2016.
- [9] Zhao G., Beji T., Merci B., *Study of FDS simulations of buoyant fire-induced smoke movement in a high-rise building stairwell*, "Fire Safety Journal" 2017, 91, 276–283, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2017.04.005>.

GRZEGORZ KUBICKI, PH.D. ENG. – A specialist in the field of fire ventilation systems. For 15 years, lecturer of the fire ventilation subject and in post-graduate studies 'Building smoke extraction systems – fire ventilation'. Participant of research programmes and co-creator of technical solutions for modern smoke prevention systems for the evacuation and smoke extraction of stairwells.

IZABELA TEKIELAK-SKAŁKA, M.SC. – graduated from the Cracow Technical University in 2010 with a M.Sc. degree. Head of the department of research and CFD analysis at SMAY Sp. z o.o. She has been researching various fire ventilation systems for 8 years.

MARCIN CISEK, M.SC. – graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw in 2003 with the master degree in fire protection engineering. Since then he has been a lecturer at the Faculty of Civil Safety Engineering in the Main School of Fire Service. For the last 17 years he has also been working as a fire protection engineer and an expert in a fire protection consultant company. He is a Ph.D. candidate at the Building Technical Institute.

DR INŻ. GRZEGORZ KUBICKI – specjalista w dziedzinie wentylacji pożarowej. Od 15 lat prowadzi na uczelni zajęcia z wentylacji pożarowej oraz wykłady w ramach studiów podyplomowych z zakresu systemów oddymiania budynków – wentylacji pożarowej. Uczestnik programów badawczych oraz współtwórca rozwiązań technicznych na potrzeby współczesnych systemów zapobiegania rozprzestrzenianiu dymu w procesie ewakuacji i oddymiania klatek schodowych.

MGR INŻ. IZABELA TEKIELAK-SKAŁKA – w 2010 r. ukończyła studia na Politechnice Krakowskiej, uzyskując tytuł magistra. Kierownik działu badań i analiz CFD w przedsiębiorstwie SMAY Sp. z o.o. Od 8 lat prowadzi badania nad różnymi systemami wentylacji pożarowej.

MGR INŻ. MARCIN CISEK – w 2003 r. ukończył Szkołę Główną Służby Pożarniczej, uzyskując tytuł magistra w dziedzinie inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Od tego czasu wykłada na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego Szkoły Główny Służby Pożarniczej. Od 17 lat pracuje także jako inżynier i ekspert ds. bezpieczeństwa pożarowego w firmie konsultingowej. Otworzył przewód doktorski w Instytucie Techniki Budowlanej.



ETCC 2020
EUROPEAN TECHNICAL COATINGS CONGRESS

Coatings
Inspirations

Zapraszamy do udziału w **ETCC2020** – European Technical Coatings Congress; Farby, Kleje, Materiały Budowlane w dniach **2-4 września 2020** w Krakowie.

Ten prestiżowy Kongres ma już 70-letnią tradycję.

Prosimy o zanotowanie daty kongresu. Szczegóły na: www.etcc2020.org

WAŻNE INFORMACJE

Zgłoszenie streszczeń referatów lub posterów – do 28 lutego 2020

Prosimy o **zarejestrowanie się** do udziału w ETCC2020 na stronie:
www.etcc2020.org/en/registration

PRZYPOMINAMY

Wystawa w trakcie kongresu ETCC2020

Państwa Organizacja, Firma może skorzystać z okazji prezentowania swoich osiągnięć naukowych, technicznych, produktów, materiałów, urządzeń, usług itp.

Więcej informacji na :

www.etcc2020.org/en/congress/exhibition

Zarejestruj się.

“Summer School”

Sesja w dniu 1 września 2020 (przed Kongresem) dedykowana głównie młodym naukowcom i studentom;

www.etcc2020.org/en/congress/summer-school

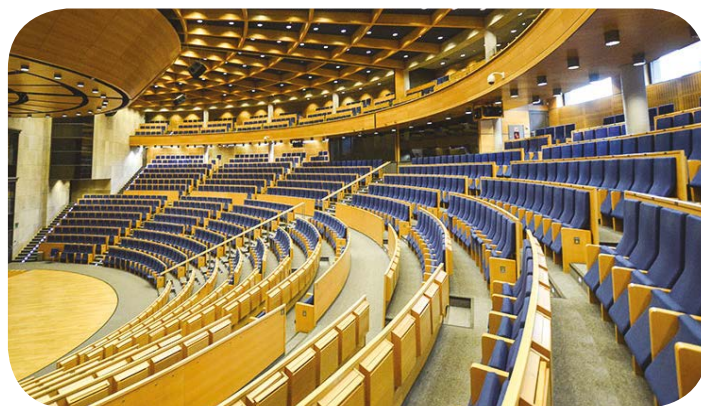
Zarejestruj się.

Referaty plenarne

Wygłaszają wybitni naukowcy i praktycy z Europy oraz USA

Publikacja referatów

Możliwość publikacji w specjalnym wydaniu czasopisma „Progress in Organic Coatings”, posiadającym Impact Factor 3.42 oraz 100 punktów w wykazie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.



Nagrody Kongresowe

Trzy nagrody po 1000 Euro za wyróżnione referaty w kategoriach: najlepszy referat kongresu, najlepszy referat prezentowany przez młodych naukowców, najlepszy referat o tematyce ekologicznej, a także inne nagrody i wyróżnienia.

Atrakcje związane z kongresem:

- wycieczki towarzyszące kongresowi (www.etcc2020.org/en/traveling/tours)
- uroczysta kolacja na Kopcu Kościuszki (www.etcc2020.org/en/congress/social-events)
- inne.

Chętnie udzielimy dalszych informacji poprzez kontakt e-mailowy: etcc2020@sitpchem.org.pl lub poprzez stronę internetową www.etcc2020.org Jesteśmy w mediach społecznościowych:

Komitet Organizacyjny Kongresu ETCC2020

e-mail: etcc2020@sitpchem.org.pl

www.etcc2020.org



2-4 września 2020, Kraków • www.etcc2020.org

Joanna Koziol^{a)*}

^{a)} *The Main School of Fire Service / Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

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

Mapping the Distribution of Fires and Local Hazards on the Example of the Masovian Voivodeship

Mapowanie rozkładu pożarów i miejscowych zagrożeń na przykładzie województwa mazowieckiego

ABSTRACT

Purpose: The purpose of the article was to prepare maps of the territorial distribution of fire and local hazards, taking into account the effects assigned to them, depending on the size of these events in the Masovian Voivodeship. In addition, the goal was to make proposals for using these maps to compare all examined areas in terms of event distribution levels, as well as types and sizes of incidents, with a special purpose of supporting the process of organising the national firefighting and rescue system.

Project and methods: The Geographic Information System (GIS) was used for event distribution mapping. The input data were statistical data from the list of events made available by the National Headquarters of the State Fire Service for operations carried out in 2018, and a layer of spatial data representing the surfaces of poviats of the Masovian Voivodeship from the National Register of Boundaries. The adopted method of event distribution analysis is based on the number of events with the effects attributed to them. Based on the maximum number of events of a given size, the authors determined the class for that number of events. A similar procedure was used to determine the class of effects, but here, too, it was dependent on the size of events. Distribution levels were established on a four-point scale, including event number and effect parameters. The distribution is visualised on the maps based on the adopted four-level scale of distribution levels and presented in the event matrix. The colours corresponding to a given level of event distribution have been assigned to poviats territories.

Results: As a result of the event distribution analysis, event distribution maps were obtained. These show for what sizes of fires and local hazards the distribution reaches such levels as low, medium, high and very high. The distribution of events from the perspective of a single poviats was presented using an event matrix, which, in turn, made it possible to compare all examined events, as well as fires and local hazards.

Conclusions: The proposed method of using statistical data and their integration with spatial data in the GIS in an accessible way allows users to carry out distribution analysis and adjust event distribution levels to poviats areas. The presented method was recommended for use in education in the field of fire protection, as implemented during studies at The Main School of Fire Service, as a supplement to methods for analysing and visualising hazards.

Keywords: fire, National Firefighting and Rescue System, local hazard, hazard distribution

Type of article: original scientific article

Received: 15.11.2019; Reviewed: 29.11.2019; Accepted: 17.12.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0002-5247-916X;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 22–31, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.2>;

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 było przygotowanie map rozkładu terytorialnego pożarów i miejscowych zagrożeń na obszarze województwa mazowieckiego. Poszczególnym zdarzeniom – w zależności od ich wielkości – przypisano określone skutki. Dodatkowym celem było przedstawienie propozycji wykorzystania wspomnianych map do porównywania rozkładów zdarzeń pomiędzy wszystkimi rozpatrywanymi obszarami, jak również pod względem rodzaju i wielkości zdarzenia w obszarze jednostkowym – w szczególności w celu wsparcia procesu organizacji Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego.

Projekt i metody: Do mapowania ryzyka wykorzystano System Informacji Przestrzennej (SIP). Danymi wejściowymi były dane statystyczne z zestawienia zdarzeń udostępnionego przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej dla działań prowadzonych w 2018 roku oraz warstwa danych przestrzennych reprezentująca powierzchnie powiatów województwa mazowieckiego, pochodząca z Państwowego Rejestru Granic. Przyjęta metoda analizy rozkładu zdarzeń bazuje na liczbie tych zdarzeń w danym roku z przypisanymi im skutkami. Na podstawie maksymalnej liczby zdarzeń określonej wielkości ustalono klasę liczby zdarzeń. Analogicznie nadano klasę skutków, jednak uzależniono ją od wielkości zdarzeń. Poziomy rozkład ustalono w czterostopniowej skali z uwzględnieniem parametrów dotyczących liczby i skutków zdarzeń. Rozkład zwizualizowano na mapach w oparciu o przyjętą skalę poziomów rozkładu, które przedstawiono z kolei w macyzy zdarzeń. Obszarom przypisano kolory odpowiadające danemu poziomowi.

Wyniki: W efekcie analizy rozkładu zdarzeń otrzymano mapy odpowiadające rozkładowi zdarzeń w powiatach województwa mazowieckiego. Wskazano dla jakiej wielkości pożarów i miejscowych zagrożeń rozkład osiąga poziomy: niski, średni, wysoki i bardzo wysoki. Rozkład zdarzeń z perspektywy jednego powiatu przedstawiono za pomocą maczyzy zdarzeń, co wprost przełożyło się na możliwość porównania względem siebie wszystkich rozpatrywanych pożarów i miejscowych zagrożeń.

Wnioski: Zaproponowany sposób wykorzystania danych statystycznych i ich integracja z danymi przestrzennymi w SIP w sposób przystępny umożliwiła przeprowadzenie analizy rozkładu zdarzeń i dopasowania poziomów rozkładu do obszarów powiatów. Prezentowana metoda została zarekomendowana do wykorzystania podczas kształcenia w zakresie ochrony przeciwpożarowej, realizowanego podczas studiów w Szkole Głównej Służby Pożarniczej, jako uzupełnienie metod służących do analizy i wizualizacji zagrożeń.

Słowa kluczowe: pożar, Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy, miejscowe zagrożenie, rozkład zagrożeń

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 15.11.2019; **Zrecenzowany:** 29.11.2019; **Zatwierdzony:** 17.12.2019;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0002-5247-916X;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 22–31, <https://doi.org/10.12845/sft.53.2.2019.2>;

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

Introduction

Protecting human life and health, and also property and the environment, is the top priority in rescue operations carried out by the State Fire Service¹ units in response to a fire (P) or a local hazard (MZ) [1].

Fires, understood as “uncontrolled burning in a place not designed specifically for this purpose” [3, p. 33], and local hazards, such as strong winds, rise in water levels, heavy snowfall, rainfall, or chemical, environmental, radiological, construction, medical, or public utilities hazards, or road, rail, air or water transport risks [3, pp. 35–37], are all recorded by KSRG organisations [2] in line with the applicable *Rules for Recording Events in the State Fire Service’s Decision-Support System* [3].

The organisation of rescue operations relies on rescue plans prepared on the basis of the analysis of operational resources and any risks that are possible within the poviats and voivodeship, and updated at least once a year [2]. What is important in the context of the necessity to conduct such analyses are the recorded data on the number, size, effects, and location of events. The information provided by such data can directly translate into the level of public safety within a given area.

Rescue operations, as one of the pillars of the country’s fire protection, are supported by actions to prevent and counter risks, as well as by public education and prevention programmes [4, p. 114]. This is why the analysis of events within a given area, which takes into account their number and consequences, can affect not only the organisation of future rescue operations, but also the measures taken to prevent such risks or to raise the public awareness of those risks. And with the spatial data, the information on events can support decision-making related to the introduction of remedial measures across specific areas, such as poviats. Last but not least, it is important to note that the description of events in terms of their spatial distribution helps compare areas and assess the risks within poviats.

Wprowadzenie

Ochrona życia, zdrowia, mienia lub środowiska jest priorytetem w działaniach ratowniczych podejmowanych przez jednostki organizacyjne Państwowej Straży Pożarnej¹ na wypadek wystąpienia pożaru (P) lub miejscowego zagrożenia (MZ) [1].

Pożary rozumiane jako zjawiska „niekontrolowanego procesu spalania, w miejscu do tego nieprzeznaczonym” [3, s. 33] oraz miejscowe zagrożenia (np. silne wiatry, przybory wód, opady śniegu, deszczu, zagrożenia chemiczne, ekologiczne, radiologiczne, budowlane, medyczne, infrastruktury komunalnej, w transporcie drogowym, kolejowym, lotniczym i na obszarach wodnych [3, s. 35–37]) ewidencjonowane są przez podmioty KSRG [2] zgodnie z obowiązującymi *Zasadami ewidencjonowania zdarzeń w systemie wspomaganie decyzji Państwowej Straży Pożarnej* [3].

Organizacja działań ratowniczych wspomaganą jest planem ratowniczym przygotowywanym na podstawie analiz zabezpieczenia operacyjnego oraz zagrożeń mogących wystąpić na obszarze powiatu i województwa, aktualizowanym co najmniej raz w roku [2]. Z punktu widzenia konieczności przeprowadzania wspomnianych analiz istotne znaczenie przypisuje się ewidencjonowanym danym o liczbie zdarzeń, ich wielkości, skutkach, czy też lokalizacji. Pozyńska z nich informacja przekłada się pośrednio na kształtowanie poziomu bezpieczeństwa powszechnego na danym obszarze.

Działania ratownicze jako jeden z filarów ochrony przeciwpożarowej państwa są powiązane z działaniami mającymi na celu prewencję i zapobieganie zagrożeniom oraz profilaktyką społeczną i edukacją [4, s. 114]. Dlatego też analiza zdarzeń występujących na danym obszarze, uwzględniająca ich liczbę oraz ocenę skutków, może wpłynąć nie tylko na kwestie związane z organizacją działań ratowniczych w przyszłości, ale również na czynności mające na celu zapobieganie zagrożeniom, czy też edukację społeczeństwa w zakresie podnoszenia świadomości o zagrożeniach. Przestrzenny atrybut przypisany do pozyskanych informacji o zdarzeniach może dodatkowo wspomóc podjęcie decyzji dotyczących wprowadzania środków zaradczych na danym obszarze (np. w powiecie). Należy też wspomnieć, że przestrzenne przedstawienie rozkładu zdarzeń umożliwia porównanie obszarów między sobą, również w perspektywie oceny zagrożeń na terenie powiatu.

¹ National Rescue and Firefighting System (KSRG) organisations.

¹ Podmioty Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (KSRG).

Mapping the distribution of fires and local hazards

Local hazard and fire distribution mapping relies on the spatial information system (SIP) to integrate recorded data with spatial data for the administrative units of the Mazowieckie Voivodeship and its poviats.

In holistic terms, SIP is a technology that can use analytical functions to translate data into the information you want [5, p. 2]. But above all, it is a system that includes some inter-connected elements, such as information products, data, people, software, hardware and procedures [5, pp. 5–6].

What is characteristic of spatial data is that, in addition to the geo-spatial parameter attributed to each data object, they also store other values, recorded as 'attributes' [5, p. 1].

For the purposes of this study, the data layer for Mazowieckie Voivodeship poviats was exported from the data available with the National Register of Boundaries and related to administrative units [6]. This was possible with the tools available through the SIP software we used, i.e. QGIS 3.4 [7]. That program is a free and open-source system, meaning it can be used for any purpose, and it can be altered, and its copies and new versions can be distributed. It can be used to create, edit, present, analyse and publish spatial data [8], [9, pp. 9–10].

To map event distribution, we used such tools as:

- “select by expression” – to select objects/poviats in the Mazowieckie Voivodeship,
- “export” – to save the selected objects to a new data layer,
- “join table” – to join a spreadsheet with a table on fires and local hazards, and the poviat data layer,
- “statistical summary” to test the maximum value of the attribute regarding the number of events of a given size,
- “field calculator” – to set classes for event numbers and effects, and for defining event distribution levels,
- style change using “symbolology scale” – to present the results of event distribution analysis by specific levels.

Events to be analysed were selected on the basis of the events recorded in the SFS Decision-Support Service (SWD PSP) for a specific timeframe and by poviat [10]. This group included:

- fires (by size, very small – PM, medium – PS, large – PD, very large – PBD),
- local hazards (small – MZM, local – MZL, medium – MZS, serious – MZD, enormous or a disaster – MZK).

Prior to mapping, we first pre-processed the input data (Figure 1). The event data from SWD PSP concerning fires and local hazards, in the form of a spreadsheet, were manipulated so that the spreadsheet only described Mazowieckie Voivodeship poviats and the poviat vector layer exported earlier (as an .shp file) [10].

After those data were added to SIP and their integrity were verified, we used the following as the basis for joining the spreadsheet and the poviat layers:

- for the spreadsheet – “Administrative Division” column,
- for the poviat vector layer – “JPT_NAZWA” (JPT_NAME) attribute,

as these included names of administrative units.

Mapowanie rozkładu pożarów i miejscowych zagrożeń

Mapowanie rozkładu pożarów i miejscowych zagrożeń bazuje na wykorzystaniu systemu informacji przestrzennej (SIP) do integracji danych ewidencyjnych zdarzeń z danymi przestrzennymi odpowiadającymi swoim zakresem obszarom jednostek administracyjnych województwa mazowieckiego z podziałem na powiaty.

W holistycznym podejściu SIP jest technologią, która poprzez odpowiednie funkcje analityczne zamienia dane w pożądaną informację [5, s. 2]. Jednak przede wszystkim jest systemem składającym się z wzajemnie ze sobą powiązanych elementów, takich jak: produkty informacyjne, dane, ludzie, oprogramowanie, komputery i procedury [5, s. 5–6].

Dane przestrzenne charakteryzują się tym, iż oprócz parametru geoprzestrzennego przypisanego do danego obiektu, przechowują również inne wartości zapisane pod tzw. atrybutami [5, s. 1].

Do niniejszego badania warstwa powiatów województwa mazowieckiego została odpowiednio wyeksportowana z danych zawartych w zbiorze przestrzennym Państwowego Rejestru Granic dotyczącego jednostek administracyjnych [6]. Było to możliwe dzięki narzędziom oferowanym przez wykorzystywane oprogramowanie SIP, tj. program QGIS 3.4 [7]. Program ten jest wolnym i otwartym systemem (tzn. może być uruchamiany w dowolnym celu, można dokonywać w nim zmian, a jego kopia i zmodyfikowana wersja może być rozpowszechniana). Umożliwia tworzenie, edycję, wizualizację, analizę i publikowanie informacji przestrzennych [8], [9, s. 9–10].

W mapowaniu rozkładu zdarzeń wykorzystano narzędzia takie jak:

- „zaznaczenie przez wyrażenie” – do wyselekcjonowania obiektów/powiatów leżących w województwie mazowieckim,
- „eksportuj” – w celu zapisania wybranych obiektów do nowej warstwy,
- „złączenie tabel” – w celu połączenia arkusza kalkulacyjnego z zestawieniem dot. pożarów i miejscowych zagrożeń z warstwą powiatów,
- „pokaż podsumowanie statystyk” – do sprawdzenia maksymalnej wartości atrybutu dot. liczby zdarzeń danej wielkości,
- „kalkulator pól” – do nadania klas liczby zdarzeń i skutków oraz określenia poziomów rozkładu zdarzeń,
- zmiana stylu wg „symbolu stopniowego” – w celu wizualizacji wyników analizy rozkładu zdarzeń z podziałem na otrzymane poziomy.

Zdarzenia poddane analizie ustalono na podstawie zdarzeń ewidencyjowanych w Systemie Wspomagania Decyzji PSP (SWD PSP) w danym przedziale czasowym w rozbiciu na powiaty [10]. W ocenianej grupie znalazły się:

- pożary (wg wielkości małe – PM, średnie – PS, duże – PD, bardzo duże – PBD),
- miejscowe zagrożenia (małe – MZM, lokalne – MZL, średnie – MZS, duże – MZD, gigantyczne lub klęski żywiołowe – MZK).

Procedura mapowania rozkładów pożarów i miejscowych zagrożeń rozpoczęła się na podstawie odpowiednio przygotowanych danych wejściowych (ryc. 1). Wykorzystano zestawienie zdarzeń z SWD PSP dot. pożarów i miejscowych zagrożeń w formacie arkusza kalkulacyjnego, które zmodyfikowano tak, aby przedstawione były tylko

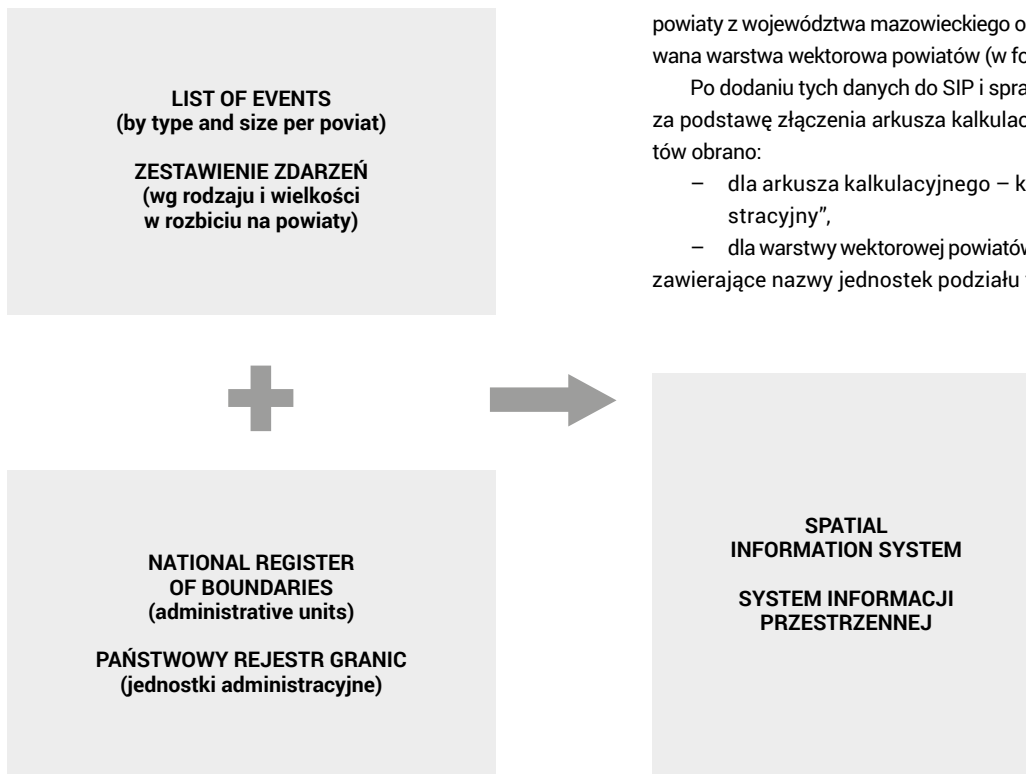


Figure 1. Spatial Information System input data

Rycina 1. Dane wejściowe do Systemu Informacji Przestrzennej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Then, based on the event analysis method proposed below, we altered the previously updated poviat data layer by using the “field calculator” tool, which allowed us to process and save data to an attribute table [11]. After event distribution was estimated, the data were colour-coded by specific levels and presented. In addition, event distribution for specific event sizes was presented in a matrix with the data shown in Table 3.

This method relies on the identification of events already during input data processing and data distribution analysis using the tools such as event distribution map and event matrix. Our analysis referred to poviats and cities with poviat rights within the Mazowieckie Voivodeship, i.e. examined unit areas, in relation to the analysed time period of one year (2018).

The analysis of events was based on the use of statistical data on the number of fires and local hazards by their location, and the correlation of this distribution with two variables, i.e., the event number class and the event effect class. We assumed that the number of events referred to those that had already happened, so in our basic formula, we assumed that the distribution of events of a specific size could be expressed as:

$$R = f(C, S) \quad (1)$$

where: R – distribution of events of a specific size, C – class of the number of events of a specific size, S – class of the effects of the events of a specific size.

powiaty z województwa mazowieckiego oraz wcześniej wyeksportowana warstwa wektorowa powiatów (w formacie .shp) [10].

Po dodaniu tych danych do SIP i sprawdzeniu ich poprawności za podstawę złączenia arkusza kalkulacyjnego z warstwą powiatów obrano:

- dla arkusza kalkulacyjnego – kolumnę „podział administracyjny”,
- dla warstwy wektorowej powiatów – atrybut „JPT_NAZWA”, zawierające nazwy jednostek podziału terytorialnego.

Następnie na podstawie zaproponowanej poniżej metody analizy zdarzeń zmodyfikowano zaktualizowaną wcześniej warstwę powiatów poprzez wspomniane już wykorzystanie narzędzia „kalkulator pól”, które umożliwia dokonywania w danej warstwie operacji na danych i zapisanie ich wyniku w tabeli jej atrybutów [11]. Po oszacowaniu rozkładu zdarzeń zostały one zwizualizowane kolorystycznie według przypisanych poziomów. Dodatkowo rozkład danej wielkości zdarzeń przedstawiono w macierzy z uwzględnieniem wartości zamieszczonych w tabeli 3.

Wykorzystywana metoda bazuje na identyfikacji zdarzeń już na etapie przygotowywania danych wejściowych oraz analizie ich rozkładu z wykorzystaniem narzędzia, jakim jest mapa rozkładu i macryca zdarzeń. Do analiz przyjęto obszar powiatów i miast na prawach powiatu województwa mazowieckiego, tzw. rozpatrywanych obszarów jednostkowych, w odniesieniu do rozpatrywanego przedziału czasowego – 1 roku (2018).

Fundament analizy zdarzeń stanowi wykorzystanie danych statystycznych dotyczących liczby pożarów i miejscowych zagrożeń z podziałem na obszar ich wystąpienia oraz uzależnienie ich rozkładu od dwóch zmiennych, tj. klasy liczby zdarzeń i klasy ich skutków. Zakłada się, że przyjęta liczba zdarzeń jest to liczba zdarzeń już zrealizowanych, dlatego też w bazowym wzorze rozkład zdarzeń określonej wielkości można zapisać jako:

$$R = f(C, S) \quad (1)$$

gdzie: R – rozkład zdarzeń danej wielkości, C – klasa liczby zdarzeń danej wielkości, S – klasa skutków zdarzeń określonej wielkości.

In order to quantify the number and the effects of events, and to add parameters to them, the author introduced four classes corresponding to the number, and four classes for the effects.

To determine the event number class attributed to fires or local hazards of specific size within the specific unit area (poviat) and period (single year, e.g. 2018) ($X_{Wn(2018)}$), the reference we used was the number of events from that poviat, where the number of events of specific size (fires and local hazards) within that period was the largest and considered to be maximum, also referred to as the “worst case” ($X_{Wmax(2018)}$).

The event number classes for the examined unit areas are as follows:

- Class 1 was assigned to the number of events $X_{Wn(2018)}$, which in proportion to the maximum number of events of specific size $X_{Wmax(2018)}$ within the examined period, is $<0;0.25$),
- Class 2 was assigned to the number of events $X_{Wn(2018)}$, which in proportion to the maximum number of events of specific size $X_{Wmax(2018)}$ is $<0.25;0.5$),
- Class 3 was assigned to the number of events $X_{Wn(2018)}$, which in proportion to the maximum number of events of specific size $X_{Wmax(2018)}$ is $<0.5;0.75$),
- Class 4 was assigned to the number of events $X_{Wn(2018)}$, which in proportion to the maximum number of events of specific size $X_{Wmax(2018)}$ is $<0.75;1$),

W celu kwantyfikacji wartości liczby i skutków zdarzeń oraz nadania im parametrów wprowadzono cztery klasy odpowiadające ich liczbie i cztery klasy skutków.

Przy precyzowaniu klasy liczby zdarzeń przypisanej do pożarów lub miejscowych zagrożeń o określonej wielkości w rozpatrywanym obszarze jednostkowym (powiecie) i okresie (w jednym roku, np. 2018) ($X_{Wn(2018)}$) za punkt odniesienia przyjęto liczbę zdarzeń z takiego powiatu, gdzie liczba zdarzeń danej wielkości (pożarów i miejscowych zagrożeń) w rozpatrywanym okresie była największa i rozumiana jako wartość maksymalna, nazywana również „najgorszym przypadkiem” ($X_{Wmax(2018)}$).

Klasy liczby zdarzeń dla rozpatrywanych obszarów jednostkowych rozkładają się odpowiednio:

- Klasę 1 przypisano tej liczbie zdarzeń $X_{Wn(2018)}$, która w proporcjonalnym odniesieniu do maksymalnej liczby zdarzeń określonej wielkości $X_{Wmax(2018)}$ w rozpatrywanym okresie mieści się w przedziale $<0;0,25$),
- Klasę 2 przypisano tej liczbie zdarzeń $X_{Wn(2018)}$, która w proporcjonalnym odniesieniu do maksymalnej liczby zdarzeń określonej wielkości $X_{Wmax(2018)}$ mieści się w przedziale $<0,25;0,5$),
- Klasę 3 przypisano tej liczbie zdarzeń $X_{Wn(2018)}$, która w proporcjonalnym odniesieniu do maksymalnej liczby zdarzeń określonej wielkości $X_{Wmax(2018)}$ mieści się w przedziale $<0,5;0,75$),
- Klasę 4 przypisano tej liczbie zdarzeń $X_{Wn(2018)}$, która w proporcjonalnym odniesieniu do maksymalnej liczby zdarzeń określonej wielkości $X_{Wmax(2018)}$ mieści się w przedziale $<0,75;1$).

Table 1. Event number classes with their corresponding ranges

Tabela 1. Klasy liczby zdarzeń z przypisanymi im przedziałami

Event number class Klasa liczby zdarzeń	Range Przedział
1	$0 \leq \frac{X_{Wn(2018)}}{X_{Wmax(2018)}} < 0.25$
2	$0,25 \leq \frac{X_{Wn(2018)}}{X_{Wmax(2018)}} < 0.5$
3	$0,5 \leq \frac{X_{Wn(2018)}}{X_{Wmax(2018)}} < 0.75$
4	$0,75 \leq \frac{X_{Wn(2018)}}{X_{Wmax(2018)}} \leq 1$

Where:

$X_{Wn(2018)}$ – the number of events with specific size within the examined unit area in 2018 (fire or local hazard)

$X_{Wmax(2018)}$ – the number of events (fires or local hazards) of specific size, within a poviat that had the most such events / “worst case”

Gdzie:

$X_{Wn(2018)}$ – liczba zdarzeń o określonej wielkości w rozpatrywanym obszarze jednostkowym w roku 2018 (pożar lub miejscowe zagrożenie)

$X_{Wmax(2018)}$ – liczba zdarzeń (pożarów lub miejscowych zagrożeń) o określonej wielkości, z powiatu, gdzie w rozpatrywanym okresie zdarzeń tych było najwięcej / „najgorszy przypadek”

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Effect class was determined directly on the basis of the event sizes attributed to fires and local hazards. This classification is shown in Table 2.

Klasa skutków określona została wprost z przypisanych do pożarów i miejscowych zagrożeń wielkości zdarzeń. Klasyfikację przedstawiono w tabeli 2.

Table 2. Effect classes by hazard size

Tabela 2. Klasy skutków w zależności od wielkości zagrożenia

Hazard Zagrożenie	Size Wielkość	Effect class Klasa skutków
P	PM	1
	PS	2
	PD	3
	PBD	4
MZ	MZM	1
	MZL	1
	MZS	2
	MZD	3
	MZK	4

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The maximum possible value attributed to event distribution for a given poviast was 16. Event distribution levels were marked on maps as follows:

- green colour – low level, for risk values: 1, 2, 3, 4,
- yellow colour – medium level, for risk values: 6, 8,
- orange colour – high level, for risk values: 9, 12,
- red colour – very high level, for risk value 16.

In addition, we prepared an event matrix (Figure 2) to organise event analysis results and their distribution by number and effects for a chosen poviast.

Maksymalna możliwa wartość przypisana do rozkładu zdarzenia dla danego powiatu wynosi „16”. Poziomy rozkładu zdarzeń na mapach oznaczono następująco:

- kolorem zielonym – poziom niski, dla wartości ryzyka: 1, 2, 3, 4,
- kolorem żółtym – poziom średni, dla wartości ryzyka: 6, 8,
- kolorem pomarańczowym – poziom wysoki, dla wartości ryzyka: 9, 12,
- kolorem czerwonym – poziom bardzo wysoki, dla wartości ryzyka równej 16.

Dodatkowo przygotowana została macierz zdarzeń (ryc. 2) porządkująca wyniki analizy zdarzeń oraz ich rozkładu w zależności od ich liczby i skutków dla wybranego powiatu.

EVENT NUMBER CLASS KLASA LICZBY ZDARZEŃ	4	4	8	12	16
	3	3	6	9	12
	2	2	4	6	8
	1	1	2	3	4
		1	2	3	4
EFFECT CLASS KLASA SKUTKÓW					

Figure 2. Event matrix for a chosen poviast

Rycina 2. Matryca zdarzeń dla wybranego powiatu

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Distribution of fires and local hazards in the Mazowieckie Voivodeship

Using the above-mentioned procedure, we mapped the Mazowieckie Voivodeship and its 42 poviats (including cities with poviat rights). We presented the distribution of fires and local hazards by size in 2018.

The adopted maximum values ($X_{Wmax(2018)}$), where the number of events of that size in 2018 was the largest, used to assign a class to that number of events as per the proposed method (Table 1), are shown in Table 3.

Table 3. Maximum values used to assign classes to numbers of events

Tabela 3. Wartości maksymalne wykorzystane do nadania klas liczby zdarzeń

Hazard size / Wielkość zagrożenia	PM	PS	PD	PBD	MZM	MZL	MZS	MZD	MZK
$X_{Wmax(2018)}$	4.442	74	4	2	1.910	5.793	244	6	0

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The produced distribution of events was presented on nine maps. The maps we prepared show the distribution of events in each poviat for:

- 1) small fires,
- 2) medium fires,
- 3) large fires,
- 4) very large fires,
- 5) small local hazards,
- 6) partial local hazards,
- 7) medium local hazards,
- 8) serious local hazards,
- 9) enormous local hazards or disasters.

Example maps of event distribution are shown in Figures 3 and 4.

These maps demonstrate that:

- the levels of small fires across all examined poviats are low;
- with medium fires, the level goes up to medium in Warszawski, Wołomiński, and Miński poviats;
- large fires have high levels in 11 poviats, and medium levels in 6; and in Warsaw their level is low; in Wołomiński poviat the level is high, and in Miński poviat it stays constant;
- high levels of very large fires were found in 9 poviats: Mławski, Pułtuski, Wołomiński, Miński, Pruszkowski, Grodziski, Piaseczyński, and Grójecki, and in Radom, while a very high level was recorded in the Żuromiński poviat;
- the level of local hazards classified as small and partial was low across all of the Voivodeship;
- only in Warsaw was the level of medium local hazards medium;
- serious local hazards reached a medium level in the Piaseczyński poviat, and a high level in Warsaw;
- across the whole Voivodeship, the level of enormous local hazard or disaster was low.

Rozkład pożarów i miejscowych zagrożeń w województwie mazowieckim

W oparciu o powyższą procedurę mapowaniu poddano obszar województwa mazowieckiego z uwzględnieniem jego podziału na 42 powiaty (w tym miasta na prawach powiatu). Przedstawiono rozkład pożarów i miejscowych zagrożeń z uwzględnieniem ich wielkości w 2018 roku.

Przyjęte wartości maksymalne ($X_{Wmax(2018)}$), w których liczba zdarzeń danej wielkości w 2018 roku była największa, wykorzystane do nadania klasy liczby zdarzeń zgodnie z zaproponowaną metodą (tab. 1) przedstawiono w tabeli 3.

Otrzymany rozkład zdarzeń przedstawiono na dziewięciu mapach. Przygotowano odpowiednio mapy przedstawiające rozkład zdarzeń w poszczególnych powiatach dla:

- 1) pożarów małych,
- 2) pożarów średnich,
- 3) pożarów dużych,
- 4) pożarów bardzo dużych,
- 5) miejscowych zagrożeń małych,
- 6) miejscowych zagrożeń lokalnych,
- 7) miejscowych zagrożeń średnich,
- 8) miejscowych zagrożeń dużych,
- 9) miejscowych zagrożeń gigantycznych i klęsk żywiołowych.

Przykładowe mapy rozkładu zdarzeń przedstawiono na ryc. 3 i 4.

Z map rozkładu wynika, iż:

- rozkład pożaru małego we wszystkich rozpatrywanych powiatach jest niski;
- dla pożarów średnich rozkład wzrasta do poziomu średniego w powiatach: warszawskim, wołomińskim i mińskim;
- duże pożary w 11 powiatach klasyfikują się na poziomie wysokim, a w 6 na poziomie średnim; natomiast w Warszawie poziom zmniejsza się do niskiego; w powiecie wołomińskim wzrasta do poziomu wysokiego, a w mińskim pozostaje bez zmian;
- poziom wysoki pożaru o wielkości bardzo dużej występuje w 9 powiatach: mławskim, pułtuskim, wołomińskim, mińskim, pruszkowskim, grodziskim, piaseczyńskim, grójeckim oraz w Radomiu, natomiast rozkład na poziomie bardzo wysokim odnotowuje się w powiecie żuromińskim;
- rozkład miejscowych zagrożeń sklasyfikowanych jako małe i lokalne w całym województwie osiąga niski poziom;
- tylko w Warszawie rozkład miejscowego zagrożenia średniego plasuje się jako średni;
- miejscowe zagrożenia o wielkości dużej osiągają wartość na poziomie średnim w powiecie piaseczyńskim, a na wysokim – w Warszawie;
- w całym województwie poziom miejscowego zagrożenia gigantycznego lub klęski żywiołowej jest na poziomie niskim.

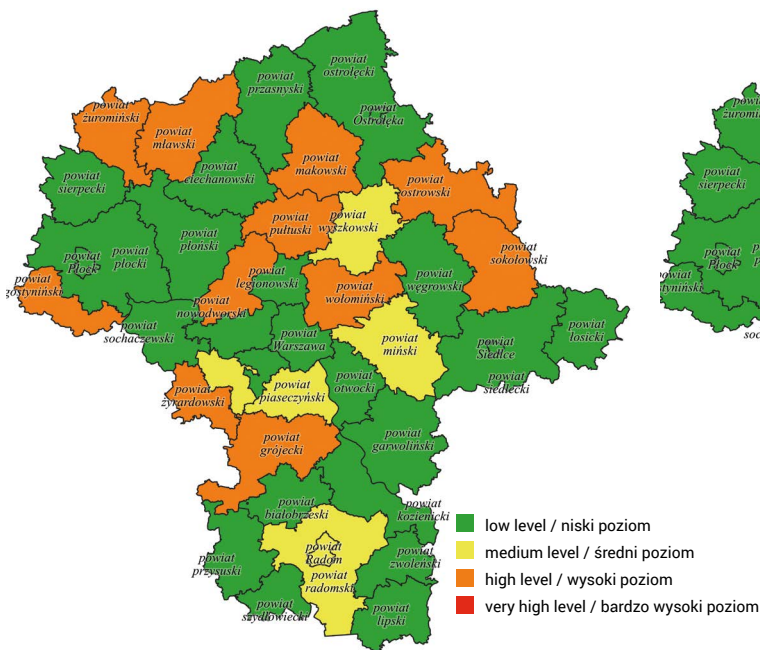


Figure 3. Map of the regional distribution of large fires
Rycina 3. Mapa rozkładu terytorialnego pożarów dużych
 Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

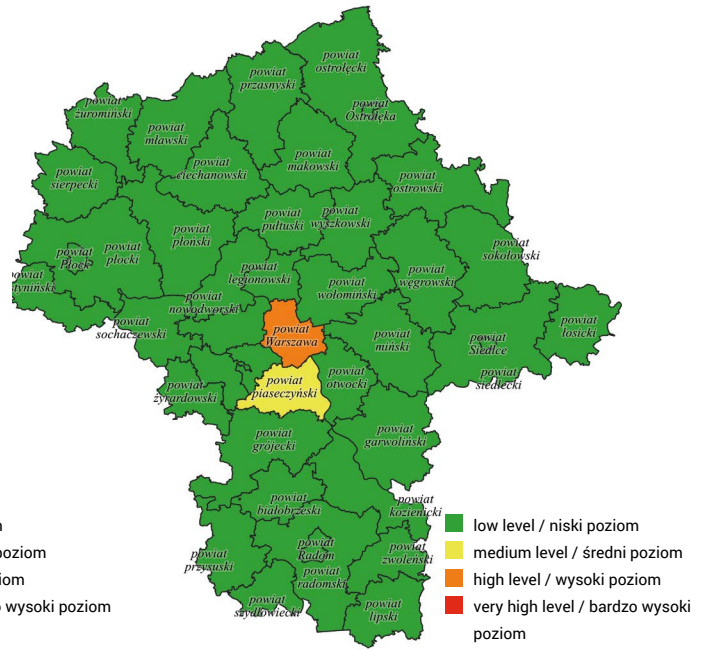


Figure 4. Map of the regional distribution of serious local hazards
Rycina 4. Mapa rozkładu terytorialnego miejscowych zagrożeń dużych
 Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

The distribution of events of specific sizes shows that out of the 378 examined cases, low levels were found in 345, medium in 11, high in 21, and very high only in 1.

From the perspective of a powiat, the event number class and the effect class can be matched using appropriate values from the event matrix. For an example of such matching, see Figure 5.

Porównanie rozkładu zdarzeń określonej wielkości pozwala zauważyć, iż na 378 rozpatrywanych przypadków poziom niski osiągnięty został w 345, średni – w 11, wysoki – w 21, a bardzo wysoki – w jednym.

Uwzględniając rozkład zdarzeń z perspektywy jednego powiatu, skorzystać można z dopasowania klasy liczby zdarzeń i klasy skutków do odpowiedniej wartości w macierzy zdarzeń. Przykład jej wykorzystania przedstawiono na rycinie 5.

EVENT NUMBER CLASS KLASA LICZBY ZDARZEN	4	• P _M • MZ _M • MZ _L	• MZ _S	• MZ _D	
	3		• P _S		
	2				
	1			• P _D	• PB _D • MZ _K
		1	2	3	4
EFFECT CLASS / KLASA SKUTKÓW					

Figure 5. Matrix of fires and local hazards in Warsaw
Rycina 5. Matryca pożarów i miejscowych zagrożeń w Warszawie
 Source: Own elaboration.
 Źródło: Opracowanie własne.

This matrix shows that events, both fires and local hazards, in Warsaw do not reach higher levels than high. Events of medium sizes have medium levels, and 2/3 of events have low levels.

Z przedstawionej matrycy wynika, iż zdarzenia – zarówno pożary, jak i miejscowe zagrożenia – w Warszawie osiągają maksymalnie poziom wysoki. Zdarzenia o wielkości średniej osiągają poziom średni, a dla 2/3 zdarzeń przypisano poziom niski.

Discussion

The proposed method for mapping the distribution of fires and local hazards can be used to compare the poviats within the examined Voivodeship. The suggested event number and effect classes, which take integer values between 1 and 4, mapped to a 4 x 4 event matrix and multiplied by one another, constitute the basis for determining their distribution levels. The proportion of the number of events within a poviat in relation to a reference value, which is the maximum number of events recorded in a single poviat within the Voivodeship, translates directly into the relationship between the number of events in that poviat and the reference number of events in the poviat with the highest number of events. The reference poviat is understood as the area where the number of events is considered to be the “worst case” for the specific time period. The classes assigned to the effects take into account their nature, directly associated with the description of their size, as included in the *Rules for Recording Events*, and refer to issues related to the damaged area or the number of fire streams used, or specialist equipment or the number of units deployed during rescue operations, and the number of fatalities and/or casualties [3, pp. 33–35].

The levels assigned to event distributions, and their presentation, both on maps and within the matrices, provide a representation of the spatial layout and can serve as distribution maps. They demonstrate the levels of selected event types and sizes across poviats of the examined Voivodeship, as well as the levels of each examined event on a matrix corresponding to the examined unit area, i.e. a single poviat.

With SIP and through the integration of data from various sources via spatial analyses, we are able to produce output information about the distribution of risks.

It is important to note that SIP can be used to extend or complement such analyses with parameters related, e.g., to population, poviat area, or the categories or number of buildings within a specific poviat.

Summary

Rescue operations can be studied on various levels. The analysis of events to which rescuers are deployed, covering the number of such events and the related damage, is the basis of, and provides support for, the organisation of rescue operations.

Such analysis, taking into account the number of events with specific effect size, can be represented as a map using the proposed method for the country as a whole. What would need to be updated, however, is the point of reference to which unit areas would be compared. In addition, the selection would need to include all poviats in Poland. Therefore, depending on the examined area, it might be necessary to re-select the data to be used. The presented maps of events for the Mazowieckie Voivodeship provide an example of how to compare poviats from this Voivodeship by reference to the “worst case” from this region.

Dyskusja

Zaproponowana metoda mapowania rozkładu pożarów i miejscowych zagrożeń pozwala na porównanie między sobą powiatów rozpatrywanego województwa. Wprowadzone klasy liczby zdarzeń oraz skutków, które przyjmują wartości całkowite z przedziału od 1 do 4, przeniesione do macierzy zdarzeń 4 x 4 oraz przez siebie przemnożone, stanowią podstawę określenia poziomów ich rozkładu. Proporcjonalne odniesienie liczby zdarzeń w rozpatrywanym powiecie do wartości referencyjnej, którą stanowi maksymalna wartość liczby zdarzeń odnotowana w jednym z powiatów z województwa, wprost przekłada się na porównanie liczby zdarzeń w danym powiecie do referencyjnej liczby zdarzeń powiatu, w którym była ona największa. Powiat referencyjny rozumiany jest jako obszar, w którym liczba zagrożeń rozpatrywana jest jako „najgorszy przypadek” w badanym przedziale czasowym. Klasy przypisane do skutków uwzględniają ich charakter, bezpośrednio wynikający z opisu wielkości zawartego w *Zasadach ewidencjonowania zdarzeń* i dotyczą kwestii związanych z powierzchnią strat lub też ilością podawanych prądów gaśniczych oraz użycia sprzętu specjalistycznego, ilości jednostek, które brały udział w działaniach ratowniczych oraz liczby ofiar śmiertelnych i/lub poszkodowanych [3, s. 33–35].

Nadane poziomy rozkładu zdarzeń i ich przedstawienie – zarówno na mapie, jak i w macierzy – stanowią zobrazowanie rozkładu przestrzennego i funkcjonować mogą jako mapy rozkładu. Umożliwiają przedstawienie poziomu wybranego rodzaju zdarzenia i jego wielkości w powiatach rozpatrywanego województwa, jak również poziomu wszystkich badanych zdarzeń na macierzy odpowiadającej rozpatrywanemu obszarowi jednostkowemu – jednemu powiatowi.

Wykorzystanie SIP i integracja w nim danych pochodzących z różnych źródeł poprzez zastosowanie analiz przestrzennych umożliwia opracowanie informacji wynikowej dotyczącej rozkładu zagrożeń.

Warto nadmienić, że SIP może być wykorzystany do rozwinięcia powyższych analiz i uzupełnienia ich o parametry związane m.in. z liczbą ludności, powierzchnią powiatu, kategoriami i liczbą budynków znajdujących się w obszarze danego powiatu.

Podsumowanie

Działania ratownicze rozpatrywane są na różnych płaszczyznach. Analiza zdarzeń, do których dysponowani są ratownicy, uwzględniająca liczbę tych zdarzeń oraz związane z nimi straty, jest podstawą i elementem wspomagania organizacji działań ratowniczych.

Wyniki badania rozkładu uwzględniającego liczbę zdarzeń o określonej wielkości skutków mogą być przeniesione na mapę – zgodnie z przedstawioną metodą – dla obszaru całego kraju. Należałoby jednak zaktualizować punkt odniesienia, do którego porównywane byłyby obszary jednostkowe. Dodatkowo przy wyborze należałoby uwzględnić powiaty z obszaru całego kraju. Dlatego też w zależności od obszaru, który będzie brany pod uwagę, należy zidentyfikować na nowo wykorzystywane dane. Przedstawione mapy zdarzeń odpowiadające obszarowi województwa mazowieckiego są przykładem, w jaki sposób można porównać powiaty tego województwa między sobą i względem „najgorszego przypadku” z tego regionu.

These maps can be used to review events from the examined period, and if such maps are updated regularly, they can help identify risk trends or dynamics over both time and space, not only in annual, but also in quarterly or monthly terms. The described method was recommended to be included in fire protection education programmes, including courses on Spatial Information Systems, Rescue Operation Support Systems, and Risk Assessment Systems, as taught in the Main School of Fire Service, as one of the methods for event analysis and visualisation.

List of abbreviations

KSRG	– National Rescue and Firefighting System
M	– local hazard
P	– fire
PSP	– State Fire Service
SIP	– Spatial Information System
SWD	– Decision-Support System

W oparciu o przedstawione mapy możliwy jest przegląd zdarzeń przypadających na rozpatrywany okres, a systematyczne ich aktualizowanie może umożliwić sprawdzenie tendencji, czy też dynamiki zmian występowania zagrożeń w czasie i przestrzeni, nie tylko w ujęciu rocznym, ale również kwartalnym czy miesięcznym.

Prezentowaną metodę zarekomendowano Szkole Głównej Służby Pożarniczej do włączenia do programów kształcenia z zakresu ochrony przeciwpożarowej, w tym z przedmiotów dotyczących Systemów Informacji Przestrzennej, Systemów Wspomagania Działań Ratowniczych oraz oceny ryzyka realizowanych jako jedną z metod służących analizie i wizualizacji zdarzeń.

Wykaz skrótów

KSRG	– Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy
M	– miejscowe zagrożenie
P	– pożar
PSP	– Państwowa Straż Pożarna
SIP	– System Informacji Przestrzennej
SWD	– System Wspomagania Decyzji

Literature / Literatura

- [1] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. 1991 Nr 81, poz. 35 z późn. zm.).
- [2] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 lipca 2017 r. w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.U. 2017 poz. 1319).
- [3] KG PSP, *Zasady ewidencjonowania zdarzeń w Systemie Wspomagania Decyzji Państwowej Straży Pożarnej*, Warszawa 2019 [dok. elektr.] <https://www.straz.gov.pl/download/583> [dostęp: 12.11.2019].
- [4] Zboina J., *Inżynieria bezpieczeństwa pożarowego w kontekście badań bezpieczeństwa*, w: *Nauki o bezpieczeństwie. Wybrane problemy badań*, Czupryński A. i in. (red.), Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2017, 111–128.
- [5] Tomlinson R., *Rozważania o GIS. Planowanie Systemów Informacji Geograficznej dla menadżerów*, ESRI Polska, 2008.
- [6] <http://www.gugik.gov.pl/pzgiik/dane-bez-oplat/dane-z-panstwowego-rejestru-granic-i-powierzchni-jednostek-podzialow-terytorialnych-kraju-prg> [dostęp: 12.11.2019].
- [7] <https://www.qgis.org/pl/site/forusers/download.html> [dostęp: 12.11.2019].
- [8] <https://www.qgis.org/pl/site/about/features.html> [dostęp: 12.11.2019].
- [9] Szczepanek R., *Systemy Informacji Przestrzennej z QGIS*, Politechnika Krakowska, Kraków 2017 [dok. elektr.] https://repozytorium.biblos.pk.edu.pl/redo/resources/25448/file/suwFiles/SzczepanekR_SystemyInformacji.pdf [dostęp: 12.11.2019].
- [10] Dane statystyczne KG PSP [dok. elektr.] <https://www.straz.gov.pl/download/4272.xlsx> [dostęp: 10.11.2019].
- [11] <https://gis-support.pl/qgis-kalkulator-pol-funkcje/> [dostęp: 12.11.2019].

JOANNA KOZIOŁ, M.SC. ENG. – graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering, Main School of Fire Service in Warsaw, completed a postgraduate programme on Spatial Information Systems at the Faculty of Geodesy and Cartography, Warsaw University of Technology. Assistant Lecturer at the Department of Safety Engineering, Faculty of Safety Engineering and Civil Protection, Main School of Fire Service.

MGR INŻ. JOANNA KOZIOŁ – absolwentka Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz studiów podyplomowych na Wydziale Geodezji i Kartografii Politechniki Warszawskiej pn. Systemy Informacji Przestrzennej. Asystent w Katedrze Inżynierii Bezpieczeństwa na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności Szkoły Głównej Służby Pożarniczej.

Adrian Bralewski^{a)*}, Jerzy Wolanin^{a)}

^{a)} The Main School of Fire Service / Szkoła Główna Służby Pożarniczej

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

Analysis of Threats Involving Liquefied Natural Gas (LNG) – Review of Literature Sources

Analiza zagrożeń z udziałem skroplonego gazu ziemnego (LNG) – przegląd źródeł literaturowych

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is to review the literature on the risks associated with the transport, storage and processing of liquefied natural gas, and to lay a foundation for developing an LNG risk assessment methodology and the related State Fire Service response procedures. The authors focused on analysing the risks associated with the physicochemical properties of LNG. The reviewed publications explored scenarios related to the operation of LNG terminals.

Introduction: The construction of the LNG terminal in Świnoujście, the constantly growing global LNG industry, and the increasingly widespread use of LNG-fuelled vehicles increase the associated risks. Therefore, it is extremely important to recognise these risks. All preventive and corrective measures require a thorough knowledge of the issues they designed to address. This article is the first step towards the development of fire department procedures to manage LNG risks. It includes a summary of the main risks faced by emergency services and scenarios that could be useful for developing a methodology for LNG risk assessment.

Methodology: The analysis presented in the article is based on a review of selected Polish and foreign literature. We provide a general discussion of the global LNG industry and its history, and of the physicochemical properties of liquefied gas. Furthermore, we identify the risks associated with the physicochemical properties of LNG, and discuss scenarios involving LNG risks in the supply chain, as provided in the reviewed literature.

Conclusions: Based on a synthetic review of the literature, it can be concluded that the risks associated with the use of LNG have been thoroughly described in international literature. Polish publications on the subject are scarce. Awareness of LNG-related risks is crucial for the work of State Fire Service officers, as it is the basis for any preventive measures. Risk identification is the first step in the assessment. Existing literature offers few descriptions of "micro-scale" risks, involving, for instance, the use of LNG-powered vehicles. Macro-scale risks, on the other hand – those involving the transport and storage of large quantities of LNG – have been described in great detail.

Keywords: LNG, risks, hazards, risk assessment

Type of article: review article

Received: 17.09.2019; **Reviewed:** 21.10.2019; **Accepted:** 28.10.2019;

Authors' ORCID IDs: A. Bralewski – 0000-0001-9411-8736; J. Wolanin – 0000-0001-5915-6905;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 32–53, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.3>;

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 przegląd literatury dotyczącej zagrożeń towarzyszących transportowi, magazynowaniu i przetwórstwu skroplonego gazu ziemnego (LNG) oraz stworzenie podstaw do opracowania metodyki oceny ryzyka niebezpiecznych zdarzeń z udziałem LNG, a także procedur reagowania na nie przez Państwową Straż Pożarną. W artykule autorzy skupili się na przeglądzie zagrożeń wynikających z właściwości fizykochemicznych LNG. W publikacji przywołano także pojawiające się w literaturze scenariusze zdarzeń związanych z obsługą terminali LNG.

Wprowadzenie: Budowa terminala LNG w Świnoujściu, stale rozwijający się światowy przemysł LNG oraz coraz powszechniejsze wykorzystanie pojazdów zasilanych tym paliwem powodują, że prawdopodobieństwo pojawienia się związanych z nim zagrożeń nieustannie rośnie. Aby zapobiegać tym zagrożeniom i podejmować wobec nich działania naprawcze, należy najpierw dokładnie je poznać. Niniejszy artykuł stanowi pierwszy etap prac ukierunkowanych na przeciwdziałanie niekorzystnym zdarzeniom związanym z LNG przez straż pożarną w ramach tworzenia procedur LNG. Autorzy zebrali główne zagrożenia, z jakimi mogą mieć do czynienia służby ratownicze, oraz scenariusze, które można wykorzystać do budowy metodyki oceny ryzyka zdarzeń z udziałem LNG.

Metodologia: Prezentowana w artykule analiza została przygotowana na podstawie przeglądu wybranej literatury polskiej i zagranicznej. Poruszono główne zagadnienia związane ze światowym przemysłem LNG i jego historią, a także właściwościami fizykochemicznymi skroplonego gazu ziemnego. Wskazano zagrożenia wynikające z właściwości fizykochemicznych LNG. Omówiono również pojawiające się w materiałach źródłowych scenariusze zagrożeń łańcucha dostaw LNG.

Wnioski: Na podstawie syntetycznego przeglądu piśmiennictwa można stwierdzić, że zagrożenia związane z wykorzystaniem LNG zostały bardzo dokładnie opisane w literaturze międzynarodowej. Na polskim rynku wydawniczym temat pozostaje omówiony w nielicznych publikacjach. Świadomość zagrożeń, jakie wiążą się z wykorzystaniem LNG, jest kluczowa dla pracy funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej, gdyż stanowi podstawę do podejmowania wszelkich środków zaradczych. Jednocześnie identyfikacja zagrożeń jest pierwszym punktem w ocenie ryzyka zagrożeń związanych z LNG.

W literaturze (zarówno polskiej, jak i zagranicznej) występują nieliczne opisy zagrożeń w tzw. skali mikro, czyli zagrożeń wynikających np. z używania pojazdów zasilanych LNG. Bardzo dokładnie zaś zostały opisane zagrożenia w skali makro, tj. te związane z transportem i magazynowaniem dużych ilości LNG.

Słowa kluczowe: LNG, zagrożenia, właściwości fizykochemiczne, ocena ryzyka

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 17.09.2019; **Zrecenzowany:** 21.10.2019; **Zatwierdzony:** 28.10.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: A. Bralewski – 0000-0001-9411-8736; J. Wolanin - 0000-0001-5915-6905;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 32–53, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.3>;

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

Introduction

With the construction of the LNG terminal in Świnoujście, Poland now has the capability to receive gas from various parts of the world. This has created opportunities for LNG imports comparable to those of Portugal and Belgium. Also, the use of LNG has increased across the country, as it became an alternative to LPG and conventional natural gas. It is mainly used as fuel for various types of vehicles, including public buses, which have proven successful in Warsaw, Olsztyn and Gdańsk, among other cities). Lorry manufacturers also provide LNG-powered vehicles. And Russia has undertaken a project involving LNG-powered trains. It is reasonable to expect that the growth of the LNG market in Poland will prompt the development of LNG-vehicle infrastructure – filling stations and mobile LNG stations. Therefore, we believe it is extremely important to know the risks associated with the transport, storage and use of this fuel.

In this article we review Polish and international literature on the subject in an attempt to identify and assess the risks associated with LNG use. We consider it to be the first step towards developing a methodology for LNG risk assessment. Below, we provide a brief outline of the global LNG market, followed by an analysis of the physicochemical properties of LNG, and a discussion of various scenarios involving LNG incidents and related risks. We should note here, however, that the aim of this article was not to explore in detail the methods for modelling specific LNG risks. Rather, we intended to facilitate a general understanding of the processes and problems underlying the use of this substance. In addition, we consider this article to be the first step towards defining procedures for emergency services to respond to LNG spill incidents. The discussion below has been prepared as part of the project called „Innowacyjne stanowisko badawczo-treningowe *Trenażer LNG* służące do opracowania tak-

Wstęp

Wraz z budową terminala LNG w Świnoujściu Polska otworzyła się na przyjmowanie gazu pochodzącego z różnych stron świata. Stworzyło to możliwości importowe skroplonego gazu ziemnego porównywalne do tych, którymi dysponują kraje takie jak Portugalia czy Belgia. Powstanie terminala LNG w Polsce przyczyniło się również do zwiększenia powszechności stosowania tego paliwa w kraju. Zaczęto być ono używane zamiennie z LPG i tradycyjnym gazem ziemnym. LNG znajduje tu zastosowanie jako paliwo zasilające wszelkiego rodzaju pojazdy. Z powodzeniem użytkowane są autobusy miejskie zasilane LNG (m.in. w Warszawie, Olsztynie, Gdańsku). Także producenci samochodów ciężarowych posiadają w swojej ofercie ciągniki zasilane tym paliwem. W Rosji natomiast powstał projekt pociągu zasilanego skroplonym gazem ziemnym. Spodziewać się można, że wraz z rozwojem rynku LNG w Polsce, w niedługim czasie rozwinię się także infrastruktura związana z obsługą pojazdów zasilanych LNG – np. stacje paliw, mobilne stacje LNG. W związku z powyższym niezwykle ważne zdaniem autorów jest poznanie zagrożeń, z jakimi wiąże się transport, magazynowanie i wykorzystanie tego rodzaju paliwa.

W artykule dokonano przeglądu literatury polskiej i międzynarodowej w kierunku próby identyfikacji i oceny zagrożeń związanych z użytkowaniem LNG. Praca ta stanowi pierwszy krok w procesie tworzenia metodyki oceny ryzyka zagrożeń związanych z LNG. Autorzy przedstawili ogólne informacje o rynku LNG na świecie, przeanalizowali właściwości fizykochemiczne LNG, scenariusze zdarzeń z udziałem LNG oraz związane z nimi zagrożenia. Jednocześnie autorzy pragną zaznaczyć, że celem artykułu nie było dokładne przybliżenie sposobów modelowania konkretnych zagrożeń LNG, a jedynie ogólne zrozumienie procesów i problemów związanych z wykorzystaniem omawianej substancji. Artykuł stanowi jednocześnie wprowadzenie do prac mających na celu określenie

tyki działań z wykorzystaniem sprzętu będącego na wyposażeniu PSP podczas zdarzeń LNG” (*“Trenażer LNG – a set of innovative training and research equipment designed to help develop operational tactics using State Fire Service equipment for LNG incidents”*) (Agreement No. DOB-BIO9/15/02/2018).

LNG history and market

Liquefied natural gas is commonly known as LNG. According to the main distributor of LNG in Poland, the history of this fuel goes back to the 19th century, when British chemist Michael Faraday (1791–1867) became the first man to have liquefied this gas [1]. In 1883 Jagiellonian University scientists Zygmunt Wróblewski and Karol Olszewski liquefied oxygen and nitrogen from air. However, it was not until 1896 that the cooling and liquefaction technology was patented by German engineer Karl Paul Gottfried von Linde. The first LNG liquefaction plant came into operation in 1917 in the US state of West Virginia, and the first commercial liquefaction facility was built in 1941 in Cleveland. Liquefied natural gas was transported for the first time after World War II. In January 1959 an LNG carrier, converted from a military freighter, set out from Lake Charles in the US state of Louisiana to Canvey Island in the UK [1]. This marked the emergence of the international industry of liquefied natural gas extraction and processing. It prompted efforts to find LNG suppliers from outside the US and South America. Later on, following the discovery of large natural gas deposits in Libya and Algeria, these two countries became the leading exporters of LNG [2].

Below are some of the key LNG-industry facts [3]:

- **258 MT (million tonnes)** – the volume of internationally traded LNG in 2016. There has been a clear and continuous upward trend in LNG trade (244.8 MT in 2014, 244.9 MT in 2015). The primary factors for this development include the increased demand in the Pacific basin, mainly Australia; the US starting to import LNG from the Mexican Bay; and the increased demand in Asia.
- **72.3 MT (million tonnes)** – the volume of LNG supplied under short- and mid-term LNG contracts in 2016, representing about 28% of the global trade volume, an approx. 4% decrease relative to 2015. This was caused by the need to bridge the energy gap caused by the Fukushima earthquake, and the increased capability of the US to extract shale gas. Faced with such a dynamic environment, the LNG market was forced to become more flexible.
- **\$5.52/MMBtu** – the average price per one million British thermal units (MMBtu) in northern Asia. This seems to be a high price compared to the one Poland paid for its first LNG transport to the Świnoujście terminal (\$4.1/MMBtu). Suspended gas supplies and low temperatures in 2016 in Asia were the primary causes.
- **340 MTPA (million tonnes per annum) – global LNG liquefaction capacity (2016)** – the global LNG liquefaction capacity increased by about 35 MTPA relative to 2015. This was caused by the continuous development of the

procedur reagowania ratowników na zdarzenia związane z wyciekami LNG. Prezentowane rozważania są wynikiem prac prowadzonych w ramach projektu „Innowacyjne stanowisko badawczo-treningowe *Trenażer LNG* służące do opracowania taktyki działań z wykorzystaniem sprzętu będącego na wyposażeniu PSP podczas zdarzeń LNG” (nr umowy DOB-BIO9/15/02/2018).

Historia i ogólne informacje o światowym rynku LNG

Skroplony gaz ziemny jest powszechnie znany jako LNG (Liquefied Natural Gas). Według głównego dystrybutora LNG na rynku polskim historia tego paliwa ma swój początek w XIX wieku, kiedy to brytyjski chemik Michael Faraday (1791–1867) jako pierwszy dokonał skroplenia gazu [1]. W 1883 roku przedstawiciele Uniwersytetu Jagiellońskiego – Zygmunt Wróblewski i Karol Olszewski – skroplili tlen i azot pochodzące z powietrza atmosferycznego. Jednak dopiero w 1896 roku technologię schładzania i skraplania opatentował niemiecki inżynier Karl Paul Gottfried von Linde. Pierwsza instalacja do skraplania LNG rozpoczęła działanie w Zachodniej Wirginii w Stanach Zjednoczonych w 1917 roku, a pierwsza komercyjna instalacja skraplająca została zbudowana w Cleveland w 1941 roku. Pierwszy transport skroplonego gazu ziemnego miał miejsce po II Wojnie Światowej. W styczniu 1959 roku przekształcony z wojskowego transportowca statek z ładunkiem LNG wypłynął z Lake Charles w Luizjanie (USA) i przybył do Canvey Island w Wielkiej Brytanii [1]. Wydarzenie to zapoczątkowało międzynarodowy przemysł związany z wydobyciem i przetwórstwem skroplonego gazu ziemnego. Przyczyniło się również do poszukiwania innych niż USA i Ameryka Południowa dostawców LNG. Po odkryciu złóż gazu ziemnego w Libii i Algierii, te właśnie kraje stały się głównymi eksporterami skroplonego gazu ziemnego [2].

O obecnym stanie i rozmiarze przemysłu związanego z obsługą LNG świadczyć mogą fakty pochodzące z roku 2016 [3]:

- **258 MT (milion ton) LNG** w światowym handlu w 2016 roku. Zauważalna jest ciągła tendencja wzrostowa w obrocie LNG (244,8 MT w 2014 roku, 244,9 MT w 2015 roku) spowodowana w głównej mierze zwiększoną podażą w basenie Pacyfiku, głównie w Australii; rozpoczęciem eksportu przez Stany Zjednoczone z Zatoki Meksykańskiej; zwiększonym popytem w Azji.
- **72,3 MT (milion ton)** osiągnął krótko i średniookresowy handel LNG w 2016 roku, co stanowi około 28% całego światowego obrotu i w stosunku do roku 2015 oznacza spadek o około 4% wartości. Było to spowodowane koniecznością uzupełnienia luki energetycznej wywołanej wstrząsami w Fukushimie oraz wzrostem możliwości USA wynikających z pozyskiwania gazu łupkowego. Tak zmienne środowisko wymusiło potrzebę większej elastyczności rynku LNG.
- **\$5,52/MMBtu** – średnia cena za milion brytyjskich jednostek termicznych (MMBtu) w północnej Azji. W stosunku do ceny jaką zapłaciła Polska za pierwszy transport LNG do gazoportu w Świnoujściu (\$4,1/MMBtu), wydaje się być to cena wysoka. Wynika z przerw w dostawach gazu oraz niskich temperatur panujących w roku 2016 na kontynencie azjatyckim.

LNG processing industry. The year 2016 saw the emergence of a number of new projects such as Gorgon LNG, Australia Pacific LNG and Sabine Pass LNG, and additional production runs at Gladstone LNG (GLNG), Queensland Curtis LNG (QCLNG) and Malaysia LNG (MLNG). Global LNG liquefaction capacities are expected to grow in the years to come, as major projects are underway at Tangguh LNG (with a planned liquefaction capacity of 3.8 MPTA) and Elba Island LNG (2.5 MTPA).

- **795 MTPA – the global LNG regasification capacity** – the global LNG regasification capacity increased from 766.8 MPTA at the end of 2016 to 794.6 MTPA at the end of January 2017, mainly due to the availability of additional capacities in China, Japan, France, India, Turkey and South Korea. It is expected that the Philippines, Bahrain and Russia (Kaliningrad) will complete their LNG regasification projects in the coming years.
- **A 10% share of global gas trade in 2015** – natural gas contributes to approx. a fourth of global energy demand, and LNG accounts for 9.8% of this contribution.
- **439 LNG carriers** – the global LNG fleet, including conventional ships and floating storage regasification units (FRSU). A total of 31 new carriers were put into service in 2016, and 2 were decommissioned and scrapped.

As at 2016, LNG was exported by 18 countries. Leading global exporters of LNG include Qatar, accounting for about 30% of global LNG supplies, and Australia (about 17%). However, in terms of the regional distribution of LNG exports, it should be borne in mind that Asia-Pacific countries lead in global LNG exports – with a share of 38.6%, they are slightly ahead of Middle Eastern exporters (35.3%). Figure 1 shows individual countries' percentage share of global LNG exports.

- **340 MTPA (miliony ton rocznie)** – światowe zdolności w upłynnianiu LNG (2016). Globalna zdolność upłynniania LNG wzrosła o ok. 35 MTPA w stosunku do roku 2015. Wynika to z ciągłego rozwoju przemysłu związanego z przetwórstwem LNG. W roku 2016 powstały nowe projekty, takie jak Gorgon LNG, Australia Pacific LNG i Sabine Pass LNG, a także dodatkowe ciągi produkcyjne w Gladstone LNG (GLNG), Queensland Curtis LNG (QCLNG) i Malaysia LNG (MLNG). Przewiduje się, że w najbliższych latach światowe możliwości w skraplaniu LNG będą rosły za sprawą rozpoczętych inwestycji w Tangguh LNG (planowane możliwości skraplania rzędu 3,8 MPTA) oraz Elba Island LNG (2,5 MTPA).
- **795 MTPA – światowe zdolności w regazyfikacji LNG** Globalna zdolność regazyfikacji wzrosła do 766,8 MTPA do końca 2016 r. i do 794,6 MTPA do końca stycznia 2017 r., głównie za sprawą dodatkowej przepustowości dostępnej rynkach Chin, Japonii, Francji, Indii, Turcji i Korei Południowej. Przewiduje się, że w najbliższych latach projekty związane z regazyfikacją LNG zakończą Filipiny, Bahrajn i Rosja (Kaliningrad).
- **10% udziałów LNG w globalnych obrotach gazem w 2015 r.** – gaz ziemny stanowi około ¼ światowego zapotrzebowania na energię, z czego 9,8% jest dostarczane jako LNG.
- **439 statków stanowiących globalną flotę LNG** – w tym statki konwencjonalne i działające jako FRSU (Floating Storage Regasification Unit). W 2016 roku do użytku zostało oddanych 31 nowych statków, zaś 2 zostały wycofane z użytkowania i oddane na złom.

W 2016 roku LNG był eksportowany przez 18 krajów. Największymi światowymi eksporterami są Katar, z którego pochodzi ok. 30% światowego LNG, oraz Australia (ok. 17%). Uwzględniając rejonizację eksportu LNG, należy pamiętać, że dominujące znaczenie w światowym przemyśle LNG mają kraje Azji i Pacyfiku, których udział w światowym eksporcie surowca stanowił ok. 38,6%, nieznacznie wyprzedzając kraje Bliskiego Wschodu (35,3%). Procentowy udział poszczególnych krajów w światowym eksporcie LNG zaprezentowano na rycinie 1.

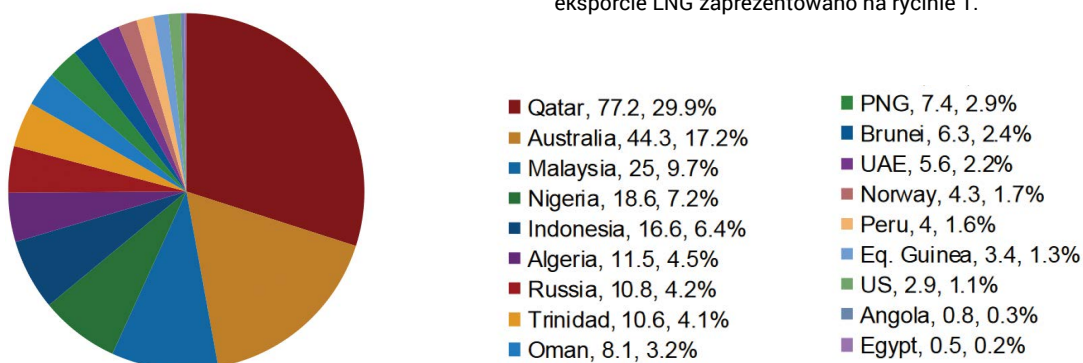


Figure 1. LNG exports (million tonnes per annum) and share of global LNG exports by country in 2016 (%)

Rycina 1. Eksport LNG (w milionach ton rocznie) i udział w eksporcie poszczególnych krajów w 2016 r. (w procentach)

Source/Źródło: International Gas Union, 2017 World LNG Report, Barcelona 2017, [3].

Leading LNG importers include Japan (32.3%), South Korea (13.1%), and China (10.4%). Accordingly, the Asia-Pacific region has had the largest demand for LNG, accounting for 53.6% of global LNG imports in 2016. Europe was the second largest importer in 2016 (see Figure 2). It is important to note that in the figure below Poland is included under the OTHER section, with imports of less than 2.5 MT, next to such countries as Singapore, Portugal, Belgium, Malaysia, Brazil, Lithuania, the Dominican Republic, Greece, the Netherlands, Israel, Canada, Jamaica and Columbia.

Z kolei do największych importerów LNG zaliczają się: Japonia (32,3%), Korea Południowa (13,1%) oraz Chiny (10,4%). Zatem wśród obszarów o największym zapotrzebowaniu na LNG wskazać należy rejon Azji/Pacyfiku, który w 2016 r. pochłaniał 53,6% światowego importu LNG. Drugie miejsce wśród największych importerów zajęła Europa (zob. ryc. 2). Warty zaznaczenia jest fakt, że na poniższym wykresie Polska została ujęta w części INNE, z importem poniżej 2,5 MT, obok takich krajów jak: Singapur, Portugalia, Belgia, Malezja, Brazylia, Litwa, Dominikana, Grecja, Holandia, Izrael, Kanada, Jamajka i Kolumbia.

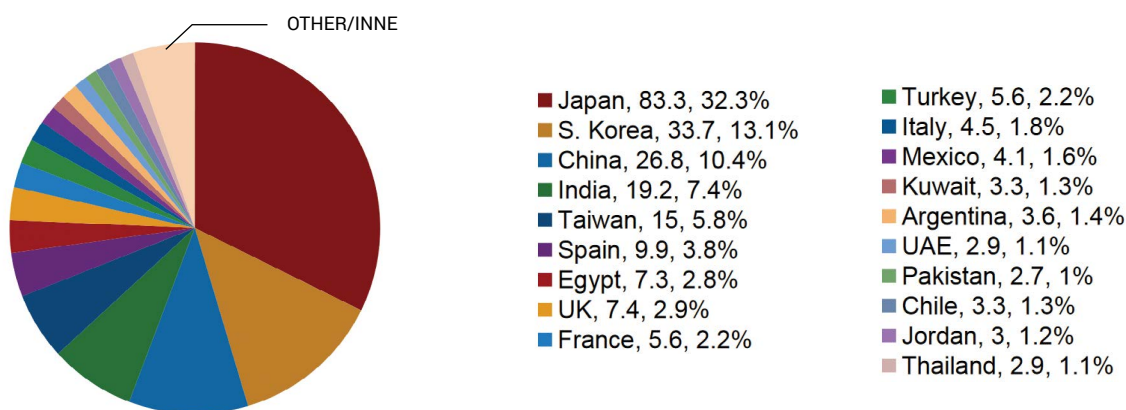


Figure 2. LNG imports (million tonnes per annum) and share of global LNG imports by country in 2016 (%)

Rycina 2. Import LNG (w milionach ton rocznie) i udział w rynku poszczególnych krajów w 2016 r. (w procentach)

Source/Źródło: International Gas Union, 2017 World LNG Report, Barcelona 2017, [3].

As LNG grows in popularity and continues to expand globally, the number of end users increases as well. This is attributable to the ever-growing number of low-emission cars. According to Natural Gas Vehicle Global, there has been a global upward trend in the number of natural-gas powered cars (Figure 3). Statistics show that as at the end of 2018 a total of 26,455,793 natural-gas powered cars were in use, and that 31,246 natural-gas filling stations were in operation.

Globalny obrót LNG i jego rosnąca popularność przekładają się również na większą powszechność stosowania gazu przez bezpośrednich użytkowników. Wiąże się to z ciągle rosnącą liczbą aut zasilanych paliwami niskoemisyjnymi. Według Natural Gas Vehicle Global w skali świata zaobserwować można tendencję wzrostową co do liczby samochodów zasilanych gazem naturalnym (ryc. 3). Jak pokazują statystyki, na koniec 2018 roku na świecie używanych było 26 455 793 aut zasilanych gazem oraz funkcjonowało 31,246 stacji, w których można zatankować tego rodzaju pojazdy.

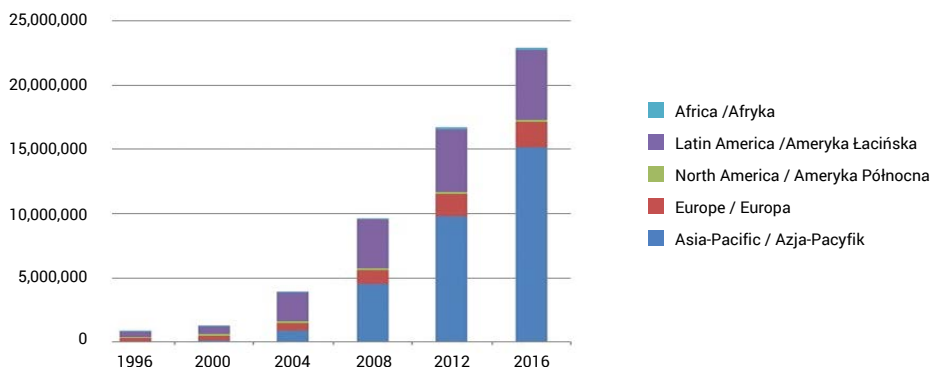


Figure 3. Number of natural-gas powered cars in 1996–2016

Rycina 3. Liczba samochodów zasilanych gazem naturalnym w latach 1996–2016

Source/Źródło: Natural Gas Vehicle Knowledge Base, Current Natural Gas Vehicle Statistics, www.iangv.org/current-ngv-stats/, [4].

The popularity of natural gas as a vehicle fuel varies globally. Asia has the most vehicles registered as natural-gas powered. It should be noted, however, that the statistics consider natural-gas powered vehicles as vehicles fuelled with CNG, LNG or biomethane (RNG).

Popularność gazu naturalnego jako paliwa napędzającego pojazdy uzależniona jest od regionu świata. Najwięcej pojazdów zasilanych gazem jest zarejestrowanych w Azji. Należy jednak zwrócić uwagę, że w przedstawianych statystykach, jako pojazdy zasilane gazem naturalnym należy rozumieć pojazdy zasilane CNG, LNG i biometanem (RNG).

Table 1. Number of natural-gas powered vehicles by region
Tabela 1. Liczba pojazdów zasilanych gazem naturalnym w zależności od regionu świata

	Number of vehicles Liczba pojazdów	Number of stations Liczba stacji
Asia-Pacific / Azja-Pacyfik	18,509,677	18,735
Europe / Europa	1,863,167	4,893
North America / Ameryka Północna	205,000	1930
Latin America / Ameryka Łacińska	5,621,350	5480
Africa / Afryka	256,599	208

Source/Źródło: Natural Gas Vehicle Knowledge Base, *Current Natural Gas Vehicle Statistics*, www.iangv.org/current-ngv-stats/, [4].

Recently, there has been a tendency among municipal companies to replace their existing fleets with zero- or low-emission buses. This development has been often driven by environmentally friendly policies and efforts to improve air quality in cities. For instance, April 2018 data show that Miejskie Zakłady Autobusowe w Warszawie (MZA), a Warsaw bus company, had 60 zero- or low-emission buses (20 electric, 35 LNG-powered and 5 hybrid vehicles). In addition, the company invited tenders for the delivery of 80 CNG-powered buses [5].

The globalised LNG and, more generally, natural gas market, as well as the rising popularity of LNG in Poland due to the construction of the Świnoujście terminal, and the emergence of emission reduction policies, have all contributed to the growth of the low-emission vehicle market. Nevertheless, as observed by Dziechciarz, Lesiak and Bąk [6] – the transport of flammable gases involves a high risk of failure incidents related to the physical characteristics of gases, such as the low boiling point, flammability, and the fact that they can rapidly create flammable mixtures with air. Between 1994 and 2014, a total of 1,238 such incidents were recorded in the United States alone (an average of 62 incidents a year). The associated damages and losses amounted to \$1,719,312,622, an average of \$85,965,631 a year. A total of 41 people died and 195 were injured as a result [6]. These data prove that the use of LNG involves certain risks, such as those related to accidents of LNG-powered vehicles and infrastructural failures. Therefore, there is a need for risk assessment, as well as for procedures to be followed by rescue services during LNG-related incidents. To give the reader an idea of the scale of danger involved in LNG tank truck accidents, it is worth referring to the analysis by E. Planas, E. Pastor, J. Casal and J.M. Bonilla, in which they provide statistics on these kinds of incidents in Spain for the period of 1999–2017 [7].

W ostatnim czasie na rynku polskim zauważalna jest tendencja wymiany floty autobusów wykorzystywanych przez miejskie przedsiębiorstwa na autobusy niskoemisyjne lub nieemisyjne. Wynika to często z proekologicznej polityki oraz próby poprawy jakości powietrza w centrach miast. Dla przykładu, według danych z kwietnia 2018 r., Miejskie Zakłady Autobusowe (MZA) w Warszawie dysponowały 60 autobusami nisko lub nieemisyjnymi (20 pojazdów elektrycznych, 35 gazowych LNG i 5 hybryd). Jednocześnie MZA w Warszawie otworzyło przetarg na dostawę 80 autobusów zasilanych gazem ziemnym CNG [5].

Światowy rynek obrotu LNG i ogólnie gazem ziemnym, jak również rosnąca popularność LNG w Polsce wynikająca z budowy portu w Świnoujściu oraz polityki mającej na celu ograniczenie emisji spalin, sprzyjają rozwojowi rynku pojazdów niskoemisyjnych. Niemniej jednak – jak piszą Dziechciarz, Lesiak i Bąk [6] – transport gazów palnych wiąże się z dużym ryzykiem awarii z uwagi na właściwości fizyczne transportowanego medium, takie jak np. niska temperatura wrzenia, palność, tworzenie mieszanin palnych z powietrzem w krótkim czasie. W samych Stanach Zjednoczonych w latach 1994–2014 odnotowano 1238 takich wypadków (czyli średnio 62 wypadki rocznie). Łączna wartość zniszczeń i strat związanych z awariami wyniosła 1 719 312 622 USD, co daje średnio rocznie 85 965 631 USD. W sumie w wyniku tych wypadków zginęło 41 osób, a 195 zostało rannych [6]. Dane te potwierdzają ryzyko wystąpienia potencjalnych zdarzeń z udziałem LNG, takich jak wypadki pojazdów zasilanych LNG czy awarie związanej z tym gazem infrastruktury. Wiąże się z tym zatem potrzeba analizy ryzyka oraz konieczność opracowania procedur, które mogłyby być wykorzystane przez ratowników w czasie zdarzeń z udziałem LNG. Aby uzmysłowić sobie skalę zagrożenia związanego z wypadkami cystern przewożących LNG, warto przywołać analizę dokonaną przez E. Planas, E. Pastor, J. Casal oraz J. M. Bonilla, w której autorzy przytaczają liczbę tego typu zdarzeń, do których doszło w Hiszpanii w latach 1999–2012 [7].

Table 2. Road accidents involving LNG tank trucks in Spain in 1999–2017
Tabela 2. Wypadki drogowe z cysternami LNG, które miały miejsce w Hiszpanii w latach 1999–2017

Date Data	Place Miejsce	Outcome Efekt	Consequences Konsekwencje
27/01/1999	Sevilla	Tank truck's tyre fire / Pożar opony cysterny	–
10/10/2000	Jabugo (Huelva)	Tank truck tipover / Przewrócenie cysterny	–
12/06/2002	Beas (Huelva)	Tank truck tipover / Przewrócenie cysterny	–
22/06/2002	Tivissa (Tarragona)	Tank truck fire and explosion Pożar i eksplozja tankowca	Driver dead, several injured, serious house damage / Śmierć kierowcy, część osób została rannych, poważnie uszkodzony dom
04/12/2002	Huelva	Tank truck tipover Przewrócenie cysterny	Driver sustained minor injuries Lekko ranny kierowca
24/03/2004	Jabugo (Huelva)	Fire in driver's cabin / Pożar w kabinie pojazdu	-
11/10/2007	Algodonales (Cadiz)	Tank truck tipover and leakage Przewrócenie cysterny i wyciek	Driver dead Śmierć kierowcy
19/08/2008	Reolid (Albacete)	Tank truck tipover and leakage Przewrócenie cysterny i wyciek	Driver dead Śmierć kierowcy
25/10/2010	Sanlucar la Mayor (Huelva)	Valve leakage / Wyciek przez zawory	–
20/10/2011	Zarzalico (Murcia)	Tank truck fire and explosion Pożar i eksplozja tankowca	Driver dead, damaged house and filling station Śmierć kierowcy, uszkodzenie domu i stacji benzynowej
27/10/2011	Ribarroja (Valencia)	Tank truck tipover / Przewrócenie cysterny	-
21/11/2011	Palos (Huelva)	Damage to the rear part of an empty tank truck / Zniszczenie tylnej części pustej cysterny	Driver sustained serious injuries Poważnie ranny kierowca
14/01/2012	Puerto Lumbreras (Murcia)	Empty tank truck tipover Przewrócenie pustej cysterny	Driver sustained serious injuries Poważnie ranny kierowca
17/01/2012	Puerto Lumbreras (Murcia)	Empty tank truck tipover Przewrócenie pustej cysterny	–
24/01/2012	Huelva	Tank truck tipover / Przewrócenie cysterny	–

Source/Źródło: Planas E., Pastor E., Casal J., Bonilla J. M., *Analysis of the Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (bleve) of a liquefied natural gas road tanker: the Zarzalico accident*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2015, [7].

Physicochemical properties of LNG

Liquefied natural gas (LNG) is used for regasification as a gas fuel (distributed via gas networks to individual consumers, used by gas-fired power plants, or as an alternative motor fuel) or chemical material. The volume of liquefied gas is about 600 times smaller than that of regasified gas, which makes it easier to transport and store [8]. LNG liquefies at temperatures of -166°C to -157°C (depending on LNG composition) at atmospheric pressure. Liquefied natural gas (liquid) is lighter than water, and has a density of 430–470 kg/m³. At low temperatures, close to liquefaction temperature, methane (gas) density is about 1,751 kg/m³ – higher than air density. When spreading, the gas may accumulate close to the ground. As its temperature increases to about -110°C, methane becomes lighter than air and easy to ventilate [9]. LNG composition depends on the source-gas composition and the liquefaction method used, and as such may slightly vary by origin. Table 3 presents the qualitative composition – depending on the place of extraction and loading.

Właściwości fizykochemiczne LNG

Gaz ziemny skroplony – LNG jest gazem stosowanym po regazyfikacji jako paliwo gazowe (rozprowadzane siecią gazową do odbiorców, stosowane w elektrowniach gazowych oraz jako alternatywne paliwo w silnikach) lub surowiec chemiczny. Skroplony gaz zajmuje objętość ok. 600 razy mniejszą niż gaz po regazyfikacji, a więc jest łatwiejszy do transportowania i magazynowania [8]. Skroplenie LNG następuje w temperaturze od -166°C do -157°C (temperatura uzależniona jest od składu LNG) przy ciśnieniu atmosferycznym. Skroplony gaz ziemny (ciecz) jest lżejszy od wody, a jego gęstość wynosi 430–470 kg/m³. Gęstość metanu (gazu) w niskiej temperaturze, bliskiej skraplaniu to ok. 1,751 kg/m³, a więc jest to gęstość większa od gęstości powietrza. Podczas rozprzestrzeniania się gaz ten może kumulować się tuż nad ziemią. Metan wraz ze wzrostem temperatury do wartości ok. -110°C staje się lżejszy od powietrza i łatwo poddaje się procesom wentylacyjnym [9]. Skład LNG uzależniony jest od składu gazu źródłowego oraz zastosowanej metody skraplania, co za tym idzie może się nieznacznie różnić w zależności od pochodzenia. Skład jakościowy – uzależniony od miejsca wydobycia i załadunku – został przedstawiony w tabeli 3.

Table 3. LNG characteristics by origin
Tabela 3. Charakterystyka LNG w zależności od źródeł

Origin	Nitrogen N2 %	Methane C1 %	Ethane C2 %	Propane C3 %	C4+%	TOTAL	LNG Density ⁽¹⁾ kg/irP	Gas Density ⁽²⁾ kg/rr ³ fn)	Expan- sion ratio m ³ (n)/ m ³ liq	GasGCV ⁽²⁾ MJ/m ³ (n)	Wobbe Index ⁽²⁾ NU/m ³ (n)
Australia – NWS	0.04	87.33	8.33	3.33	0.97	100	467.35	0.83	562.46	45.32	56.53
Australia – Darwin	0.10	87.64	9.97	1.96	0.33	100	461.05	0.81	567.73	44.39	56.01
Algeria-Skikda	0.63	91.40	7.35	0.57	0.05	100	446.65	0.78	575.95	42.30	54.62
Algeria-Bethioua	0.64	89.55	8.20	1.30	0.31	100	454.50	0.80	571.70	43.22	55.12
Algeria-Arzpw	0.71	88.93	8.42	1.59	0.37	100	457.10	0.80	570.37	43.48	55.23
Brunei	0.04	90.12	5.34	3.02	1.48	100	461.63	0.82	564.48	44.68	56.18
Egypt – Idku	0.02	95.31	3.58	0.74	0.34	100	437.38	0.76	578.47	41.76	54.61
Egypt – Damiella	0.02	97.25	2.49	0.12	0.12	100	429.35	0.74	582.24	40.87	54.12
Equatorial Guinea	0.00	93.41	6.52	0.07	0.00	100	439.64	0.76	578.85	41.95	54.73
Indonesia – Arun	0.08	91.86	5.66	1.60	0.79	100	450.96	0.79	571.49	43.29	55.42
Indonesia – Badak	0.01	90.14	5.46	2.98	1.40	100	461.07	0.82	564.89	44.63	56.17
Indonesia – Tangguh	0.13	96.91	2.37	0.44	0.15	100	431.22	0.74	581.47	41.00	54.14
Malaysia – Bintulu	0.14	91.69	4.64	2.60	0.93	100	454.19	0.80	569.15	43.67	55.59
Nigeria	0.03	91.70	5.52	2.17	0.58	100	451.66	0.79	571.14	43.41	55.50
Norway	0.46	92.03	5.75	1.31	0.45	100	448.39	0.78	573.75	42.69	54.91
Oman	0.20	90.68	5.75	2.12	1.24	100	457.27	0.81	567.76	43.99	55.73
Peru	0.57	89.07	10.26	0.10	0.01	100	451.80	0.79	574.30	42.90	55.00
Qatar	0.27	90.91	6.43	1.66	0.74	100	453.46	0.79	570.68	43.43	55.40
Russia – Sakhalin	0.07	92.53	4.47	1.97	0.95	100	450.67	0.79	571.05	43.30	55.43
Trinidad	0.01	96.78	2.78	0.37	0.06	100	431.03	0.74	581.77	41.05	54.23
USA – Alaska	0.17	99.71	0.09	0.03	0.01	100	421.39	0.72	585.75	39.91	53.51
Yemen	0.02	93.17	5.93	0.77	0.12	100	442.42	0.77	576.90	42.29	54.91

Last updated in 2012

¹ Calculated according to ISO 6578 [T = -160°C]

² Calculated according to ISO 6976 (0°C/0°C, 1.01325 bar)

Source/Źródło: GIIGNL, *The LNG industry GIIGNL ANNUAL REPORT 2018*, International Group of Liquefied Natural Gas Importers, 2019, [10].

Liquefied natural gas is a liquid that easily changes into gas (often seen as vapour). The physicochemical properties of LNG depend on its chemical composition [2]. Table 4 shows the basic physicochemical properties of LNG.

Skoплony gaz ziemny jest cieczą, która łatwo przechodzi w stan gazowy (często w formie widocznej pary). Właściwości fizykochemiczne LNG zależą od jego składu chemicznego [2]. Podstawowe właściwości fizykochemiczne LNG zaprezentowano w tabeli 4.

Table 4. Basic physicochemical properties of LNG
Tabela 4. Podstawowe właściwości fizykochemiczne LNG

Properties / Właściwości	
Molecular mass [Da] / Masa cząsteczkowa [a.j.m.]	16.4
Liquefaction temperature [°C] (at p = 1 bar) / Temperatura skraplania [°C] (przy p = 1 bar)	-161
Density [kg/m ³] (applies to liquids) / Gęstość [kg/m ³] (dotyczy cieczy)	410÷470
Odour / Zapach	odourless / bezwonny
Colour / Kolor	colourless / bezbarwny
Cloud-point temperature [°C] (at p = 1 bar) / Temperatura zmętnienia [°C] (przy p = 1 bar)	-187
Spontaneous ignition temperature [°C] (at p = 1 bar) / Temperatura samozapłonu [°C] (przy p = 1 bar)	540÷580
Toxicity / Toksyczność	non-toxic / nietoksyczny
Oxidising capability / Korozyjność	non-oxidising / niekorozyjny
Carcinogenicity / Kancerogenność	no proven carcinogenicity / nie stwierdzono
Flammability limit when vapourised in air [% vol.] / Granice palności par w powietrzu [% obj.]	5÷15
Water solubility / Rozpuszczalność w wodzie	very poor / bardzo słaba

Source/Źródło: Rosłonek G., *Skroplony gaz ziemny – LNG. Część I – Zagadnienia ogólne i podstawy procesu rozliczeniowego*, „Nafta-Gaz” 2016, [2].

LNG's properties related to the very low transport and storage temperatures make it necessary to use special cryogenic or insulated tanks.

Właściwości LNG, związane z bardzo niską temperaturą jego składowania i transportowania, wymagają użycia specjalnych zbiorników kriogenicznych lub izolowanych cieplnie.

Risks associated with the physicochemical properties of LNG

Potential LNG-related risks in the supply chain are attributable to this fuel's properties. R. Sedlaczek has identified three types of risks directly attributable to LNG's physicochemical properties, and associated with the storage and transport of this substance. These are: fire and explosion, rollover, and rapid phase transition (RPT) [11]. Other authors also mention such risks as: pool fire, jet fire, boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE) [12–13], flash fire, and vapour cloud fire [14–15].

Zagrożenia wynikające z właściwości fizykochemicznych LNG

Zagrożenia, które mogą pojawić się w łańcuchu dostaw LNG, wiążą się właściwościami tego paliwa. R. Sedlaczek wskazuje na trzy typy zagrożeń, które wynikają bezpośrednio z właściwości fizykochemicznych LNG oraz wiążą się z magazynowaniem i transportowaniem tej substancji. Są to: zagrożenia pożarowo-wybuchowe; rollover oraz zjawisko *Rapid Phase Transition* (RPT) [11]. Inni autorzy wskazują dodatkowo na możliwość wystąpienia takich zjawisk jak: pożar powierzchniowy (*pool fire*), pożar strumieniowy (*jet fire*), wybuch rozszerzających się par cieczy wrzącej (BLEVE) [12–13], pożar błyskawiczny (*flash fire*) oraz wybuch chmury parowej (*vapour cloud fire*) [14–15].

LNG-related fire and explosion risks

LNG vapours are extremely flammable. When released, they have a low temperature and density higher than air. Floating near the ground, they produce mist and cause sudden cooling (freezing) of the surroundings. Natural gas can form explosive mixtures. It is lighter than air, and accumulates in upper sections of enclosed spaces. Ignition or explosion can be caused by flame, sparks or static electricity [8]. It should be noted, however, that LNG becomes lighter than air by absorbing heat

Zagrożenia pożarowo-wybuchowe LNG

Pary LNG są skrajnie łatwopalne. W chwili uwolnienia mają niską temperaturę i gęstość większą od powietrza. Utrzymują się przy podłożu, wywołują powstanie mgły i gwałtowne schłodzenie (zmrożenie) otoczenia. Gaz ziemny tworzy mieszaniny wybuchowe. Jest lżejszy od powietrza, gromadzi się w górnej części pomieszczeń. Zapłon lub wybuch mogą być spowodowane przez: płomień, iskry lub wyładowania elektryczności statycznej [8]. Warto jednak zwrócić uwagę, że LNG staje się lżejszy od powietrza wsku-

from the surroundings. This happens once it reaches a temperature of about -110 C° .

The air-gas mixture can ignite when the air gas concentration is between the lower (LEL) and upper explosive limits (UEL). It is assumed that the LEL and UEL for LNG is 5% and 15%, respectively. This means that if the gas concentration is lower than 5%, LNG will be too diluted to ignite. Conversely, when the concentration exceeds 15%, there is not enough oxygen in the air for the gas to combust [11]. However, flash fire and vapour cloud explosion can occur in such conditions.

The main risk associated with the storage of LNG involves its cryogenic release and subsequent combustion [16]. This release can be the effect of a physicochemical change, failure, or accident. Pool fires and jet fires are considered main LNG-related fire hazards. Explosion hazards include BLEVE and VCE.

Pool fire

A pool fire is a fire burning above a horizontal pool of flammable liquid. It cannot be extinguished as long as flammable material is available. A pool fire develops when a pool of LNG near the ignition source has been evaporating to the point that it becomes flammable. And once this limit has been reached, ignition occurs. The resulting fire spreads from the ignition source and causes further LNG evaporation. Due to the thermal effect, pool fires on water are more dangerous than those on land, as water accumulates heat better than the ground. Thermal radiation from a pool fire may injure unprotected individuals and damage property – even at a large distance from the source of fire [17].

An interesting approach to assessing the impact of LNG pool fires was proposed by A. Markowski and D. Siuta [18]. Their uncertainty-adjusted assessment procedure is based on fuzzy logic and Monte Carlo methods. It allows a precise determination of the range of impact, thus facilitating a more realistic management of potential risks, as compared to commonly applied single-point models. These same authors took a similar approach to analysing uncertainty for the computation of LNG dispersion. The main sources of uncertainty in the LNG dispersion model that they identified include the rate of release, the LNG pool radius, the surface thermal flux, wind speed, surface roughness, and the average time [18].

Jet fire

A jet fire is a narrow, long and turbulent fire resembling a burner flame. LNG-related jet fires occur when the liquid is released under pressure through an opening or a crack in the tank. These types of fires can compromise the structural integrity

tek pobierania ciepła z otoczenia. W chwili gdy osiągnięto na temperaturę ok. -110 C° , staje się lżejszy od powietrza.

Zapłon mieszaniny powietrzno-gazowej jest możliwy wówczas, gdy stężenie gazu w powietrzu będzie mieściło się pomiędzy dolną (DGW) a górną (GGW) granicą wybuchowości. Przyjmuje się, że dla LNG DGW wynosi 5%, zaś GGW – 15%. Oznacza to, że jeśli stężenie gazu będzie mniejsze niż 5%, wówczas gaz będzie zbyt rozcieńczony, aby mógł ulec zapłonowi. Gdy z kolei wartość stężenia przekracza 15%, w środowisku takim nie ma wystarczającej ilości tlenu do spalania gazu [11]. Jednocześnie są to warunki do zaistnienia pożaru błyskawicznego (*flash fire*) oraz wybuchu chmury parowej (VCE).

Główne zagrożenie związane z magazynowaniem LNG dotyczy uwolnienia kriogenicznej substancji, a następnie jej zapłonu [16]. Uwolnienie można traktować jako wynik przemiany fizykochemicznej, awarii lub wypadku. Jako główne zagrożenia pożarowe LNG wymienia się pożar powierzchniowy (*pool fire*), pożar strumieniowy (*jet fire*). Z kolei jako zagrożenia wybuchowe wskazać można BLEVE oraz VCE.

Pożar powierzchniowy (*pool fire*)

Mianem pożaru powierzchniowego (*pool fire*) określane jest pożar ponad rozlewiskiem cieczy palnej. Pożaru powierzchniowego nie można ugasić do czasu wyczerpania się materiału palnego. Mechanizm powstawania *pool fire* występuje, gdy rozlewisko LNG w okolicy źródła zapłonu paruje do granicy, w której osiągnięto palność. Po osiągnięciu tej granicy ulega zapłonowi. Powstały w wyniku zapłonu pożar rozprzestrzenia się od źródła zapłonu i powoduje dalsze parowanie cieczy LNG. Ze względu na efekt termiczny, *pool fire* na powierzchni wody jest jeszcze bardziej niebezpieczny niż pożar tego samego typu na lądzie (woda lepiej kumuluje ciepło niż ziemia). Promieniowanie ciepłe pochodzące z *pool fire* może zranić niezabezpieczone osoby i uszkodzić mienie – nawet w znacznej odległości od źródła pożaru [17].

Ciekawe podejście do oceny skutków pożaru powierzchniowego LNG prezentują A. Markowski i D. Siuta [18]. Proponowane przez autorów postępowanie w przypadku oceny skutków z uwzględnieniem niepewności bazuje na systemie logiki rozmytej (*fuzzy logic*) oraz metodzie Monte Carlo. Zastosowana przez autorów technika pozwala na precyzyjne określenie zasięgu skutków, co w przeciwieństwie do stosowanych modeli jednopunktowych, daje możliwość bardziej realnego zarządzania potencjalnym zagrożeniem. Ci sami autorzy w podobny sposób analizują niepewność w obliczeniach dyspersji LNG. Wskazują, że głównymi źródłami niepewności w modelu dyspersji LNG są: szybkość uwalniania, promień rozlewiska LNG, strumień ciepła z powierzchni, prędkość wiatru, chropowatość powierzchni i średni czas [19].

Pożar strumieniowy (*jet fire*)

Mianem pożaru strumieniowego określa się wąski, długi i turbulentny pożar, przypominający płomień z palnika. *Jet fire* w przypadku LNG występuje, gdy ciecz jest uwalniana pod ciśnieniem przez otwór bądź pęknięcie w zbiorniku. Pożary tego typu mogą naruszać

of buildings, equipment and infrastructure, acting virtually like a burner. They generate very large fluxes of heat and can burn through most materials if given sufficient exposure time. However, jet fires have a very narrow range, especially when caused by the combustion of a flammable liquid, and are usually not larger than 50 m. Consequently, jet fires pose a potential risk primarily for LNG terminals, pumping stations and filling stations [20]. Nevertheless, it is possible that the increasing popularity of mobile LNG filling stations and the growing transport of LNG using tank trucks will generate jet fire risks associated with station failures and truck accidents.

Jet fire impact analyses should give special consideration to the radiation coming from the flux of heat, and to the direct flame impact on the exposed object. From a human impact perspective, modelling the former is more relevant, since the latter always results in the death of all people within the fire zone. When considering property damage and destruction, both aspects are equally relevant. The modelling in this case is largely based on experimental data instead of computational procedures. Since it is very difficult to model a direct fire impact, most authors focus on heat radiation [20].

Boiling liquid expanding vapour explosion (BLEVE)

BLEVE is defined by the Centre for Chemical Process Safety (CCPS) as a sudden release of a large mass of pressurised superheated liquid to the atmosphere. According to the CCPS, its primary causes include the absorption of large amounts of energy, impact by an object, corrosion, manufacturing defects of containers, and internal overheating [21].

The mechanism of BLEVE is as follows [20]:

1. A vessel with compressed liquid gas is exposed to heat load, or damaged due to impact, fatigue or corrosion.
2. The vessel fails.
3. Pressure drops immediately, and an explosion occurs.
4. The vessel is shattered.
5. A fireball or toxic gas dispersion results.

A team of researchers under E. Planas published a case study of an LNG tank truck accident involving BLEVE [7]. The accident took place on the A-91 motorway linking Puerto Lumbreras with Granada. On the site of the accident, the motorway was separated by a 10-metre fault. An occupied house was located 90 m north of the site. Near the opposite lane of the motorway, about 125 m from the explosion site, there was a service area with a filling station, a café, and a rest area for truck drivers. At around 8 a.m. a west-bound truck carrying two large precast concrete slabs broke down. The driver stopped on the shoulder, partly blocking the lane. More or less twenty minutes later an LNG tank truck hit the parked vehicle's back. The tank truck driver lost control over the vehicle due to the collision. The vehicle went past the parked truck, passed through the road barrier, and fell into a ditch on the opposite side of the road, 20 m from the parked truck. Several people in the service area witnessed the

konstrukcje budynków, urządzeń i działac dosłownie jak palnik. Wytwarzają one bardzo duże strumienie ciepła i – przy założeniu odpowiedniego czasu ekspozycji – są w stanie przepalić większość materiałów. Jednak zasięg *jet fire* jest bardzo zawężony, zwłaszcza w przypadku cieczy palnej i zwykle nie przekracza 50 m. Zatem zagrożenie związane z *jet fire* ogranicza się zwykle do terminali LNG oraz przepompowni i stacji tankowania [20]. Istnieje jednak prawdopodobieństwo, że wraz ze zwiększającą się popularnością mobilnych stacji ładowania LNG oraz rosnącym transportem LNG przy użyciu cystern, *jet fire* będzie mógł wystąpić w czasie awarii stacji czy wypadków z udziałem pojazdów przewożących LNG.

Analizy skutków *jet fire* powinny uwzględniać przede wszystkim promieniowanie pochodzące ze strumienia ognia oraz bezpośrednie uderzenie płomieni w narażony obiekt. Z punktu widzenia skutków pożaru dla ludzi ważniejsze jest zamodelowanie pierwszego przypadku, ponieważ drugi zawsze kończy się śmiercią wszystkich osób znajdujących się strefie pożaru. Z kolei w analizie zagrożenia w aspekcie uszkodzeń i zniszczeń obiektów obie kwestie są równie ważne. Modelowanie opiera się w tym przypadku w głównej mierze na danych doświadczalnych, a nie na obliczeniach. Z racji tego, że bezpośrednie uderzenie strumienia ognia jest bardzo trudne do zamodelowania, większość autorów skupia się na promieniowaniu cieplnym [20].

Wybuch rozszerzających się par cieczy wrzącej (Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion, BLEVE)

Zjawisko BLEVE zostało zdefiniowane przez Centre for Chemical Process Safety jako nagłe uwolnienie do atmosfery dużej masy przegrzanej cieczy pod ciśnieniem. Jako główne przyczyny tego zjawiska podawane są: absorpcja dużej ilości energii, trafienie pocisku, korozja, wady produkcyjne zbiorników, w których przechowywana jest ciecz czy przegrzanie na skutek zewnętrznego podgrzewania [21].

Mechanizm przebiegu zjawiska BLEVE [20]:

1. Zbiornik zawierający sprężony gaz płynny przyjmuje obciążenie cieplne lub ulega uszkodzeniu ze względu na uderzenie, zmęczenie materiału lub korozję.
2. Zbiornik ulega uszkodzeniu.
3. Występuje natychmiastowe obniżenie ciśnienia i eksplozja.
4. Zbiornik ulega rozerwaniu.
5. Występuje zjawisko kuli ognia lub toksycznej dyspersji.

Zespół E. Planas w swojej publikacji opisał przykład wypadku z cysterną przewożącą LNG, podczas którego doszło do BLEVE [7]. Wypadek ten miał miejsce na autostradzie A-91 łączącej Puerto Lumbreras z Granadą. W miejscu wypadku autostrada jest ograniczona przez 10-metrowy uskoc skalny. W odległości 90 m na północ od miejsca wypadku znajduje się zamieszkały dom. Obok przeciwległego pasa autostrady, ok. 125 m od miejsca, w którym doszło do eksplozji, znajduje się strefa serwisowa ze stacją benzynową, kawiarnią i miejscem do odpoczynku dla kierowców samochodów ciężarowych. Około godziny 8 ciężarówka jadąca na zachód z dwiema dużymi prefabrykowanymi płytami betonowymi zepsuła się i zatrzymała na poboczu autostrady, częściowo blokując pas. Mniej więcej dwadzieścia minut później cysterna LNG uderzyła w tył zaparkowanego pojazdu. Z powodu kolizji kierowca cysterny stracił kontrolę nad pojazdem. Cysterna minęła zaparko-

accident. After coming to a halt, the LNG tank truck burst into flames. The fire rapidly expanded, making it impossible for the driver of the parked truck to save the man trapped inside the tanker. The emergency services in Lorca received the accident call at about 8:21. They were based at a distance of 31 km from the site. When firefighters arrived at the scene, the tanker had already lost much of its insulating layer. Heavy smoke emanating from the fire was visible from a large distance, indicating that the container contents were burning. The fire department decided to secure the fire area within a radius of 600 m, and to shut off traffic due to the risk of explosion. The fire engines were stationed in a distance of 150 m, and everyone in the service area, as well as several witnesses watching from a motorway bridge, were evacuated. Moments before the explosion a piercing whistling sound could be heard coming from the truck, and the fire intensified. This prompted a decision to withdraw to a distance of 200 m. Soon after the tanker exploded [7].

Based on this example, it is evident that case studies of BLEVE incidents could be helpful in modelling the fire behaviour of pressurised cryogenic-substance containers.

waną ciężarówkę, uszkodziła barierkę i wpała do rowu po przeciwnej stronie drogi, 20 m przed ciężarówką. Świadcami zdarzenia było kilka osób, które znajdowały się w strefie serwisowej. Po zatrzymaniu się cysterna nagle stanęła w płomieniach. Ogień szybko przybrał bardzo duże rozmiary, które uniemożliwiły kierowcy zniszczonego pojazdu uratowanie uwięzionego w środku kolegi. Służby ratunkowe z miejscowości Lorca otrzymały telefon informujący o wypadku o godzinie 8:21. Ich siedziba oddalona była o 31 km od miejsca wypadku. Kiedy strażacy dotarli na miejsce, tankowiec stracił już znaczną część izolacji. W pożarze wydzielał się dym widoczny z dużej odległości. Świadczyło to o spalaniu zawartości zbiornika. Strażacy postanowili zabezpieczyć obszar o promieniu 600 m i całkowicie zredukować ruch na drodze ze względu na ryzyko wybuchu. Wozy strażackie zostały ustawione w odległości 150 m, a wszystkich ludzi ze strefy serwisowej oraz kilku świadków obserwujących scenę z mostu na autostradzie ewakuowano. Chwilę przed wybuchem słychać było przenikliwy gwizd cysterny, ogień nasilił się, a strażacy podjęli decyzję o wycofaniu się na odległość 200 m. Zaraz po tym nastąpiła eksplozja cysterny [7].

Przywołany przykład pokazuje, że studia przypadku dotyczące zjawiska BLEVE mogą być pomocne przy modelowaniu zbiorników ciśnieniowych przeznaczonych do przechowywania substancji kriogenicznych w warunkach pożaru.

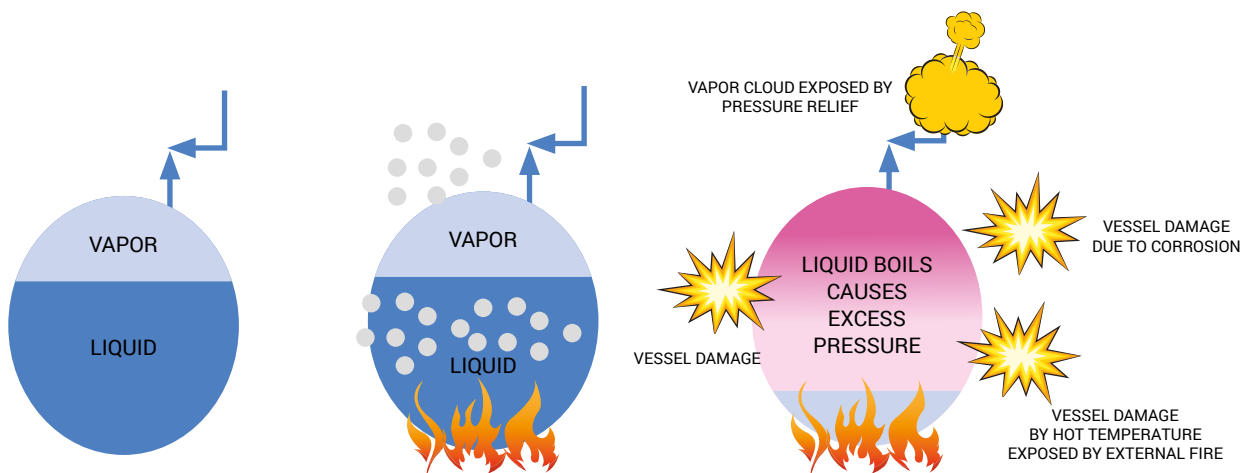


Figure 4. Illustrates the BLEVE mechanism

Rycina 4. Przebieg zjawiska BLEVE

Source/Źródło: Kaushik M., *What is Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE) on Gas Carrier Ships?*,

<https://www.marineinsight.com/tech/what-is-boiling-liquid-expanding-vapour-explosion-bleve-on-gas-carrier-ships/>, [23].

Rapid phase transition (RPT)

Rapid phase transition is a very rapid evaporation of LNG caused by a large amount of heat coming from the water on which LNG has accidentally spilled, or the water with which LNG has come into contact in an insulated container [11]. D.S. Burgess, J.N. Murphy and M.G. Zabetakis discussed the behaviour of LNG spillage onto water in a 1970 report commissioned by the US Department of the Interior. At the time, explo-

Gwałtowne przejście fazowe (Rapid Phase Transition, RPT)

Zjawisko gwałtownego przejścia fazowego (Rapid Phase Transition, RPT) można opisać jako raptowne odparowanie LNG na skutek dostarczenia dużej ilości ciepła pochodzącego z wody, na którą wypływa LNG w czasie przypadkowego wycieku; bądź z którą kontaktuje się skroplony gaz ziemny w izolowanym zbiorniku [11]. O zjawisku zachowania się LNG w czasie wycieku na

sions caused by LNG leakage onto water were not referred to as RPT. However, already at that point the authors of the report recommended that “explosions caused by LNG spills onto water” be factored in when managing LNG transport. They also emphasised the uncertainty involved in scaling such explosions, especially in the case of minor spills [24]. RPT involves an uncontrolled spill of LNG onto water. As noted by J.A. Fay, such spills may be caused by accidental collisions involving LNG ships or targeted terrorist attacks, such as the one carried out in 2000 against the USS Cole [25]. The author also presented the computational procedure for a number of scenarios involving various tank and tank-liquid positions relative to the water surface. Similar assumptions were made by the authors of the “Understand LNG Rapid Phase Transitions (RPT)” report.

powierzchnię wody pisali już D. S. Burgess, J. N. Murphy oraz M.G. Zabetakis w raporcie z 1970 r. sporządzonym na potrzeby Departamentu Spraw Wewnętrznych USA. Wówczas wybuchy związane z wyciekami LNG na powierzchnię wody nie były jeszcze określane mianem RPT. Już wtedy jednak autorzy raportu wskazywali na konieczność uwzględnienia „wybuchów powstałych w wyniku wycieku LNG na wodę” w zarządzaniu transportem LNG. Zwracali również uwagę na brak pewności w skalowaniu tych wybuchów, zwłaszcza w przypadku niewielkich wycieków [24]. RPT zawsze wiąże się z niekontrolowanym wyciekami LNG na powierzchnię wody. Jak wspomina J.A. Fay, wycieki te mogą powstać w efekcie przypadkowej kolizji statku transportującego LNG lub celowych działań terrorystycznych, które miały miejsce np. w 2000 r. na USS Cole [25]. Autor przedstawia jednocześnie proces obliczeniowy dla różnych scenariuszy usytuowania zbiornika i cieczy w zbiorniku względem powierzchni wody. Podobne założenia przyjęli autorzy raportu „Understand LNG Rapid Phase Transitions (RPT)”.

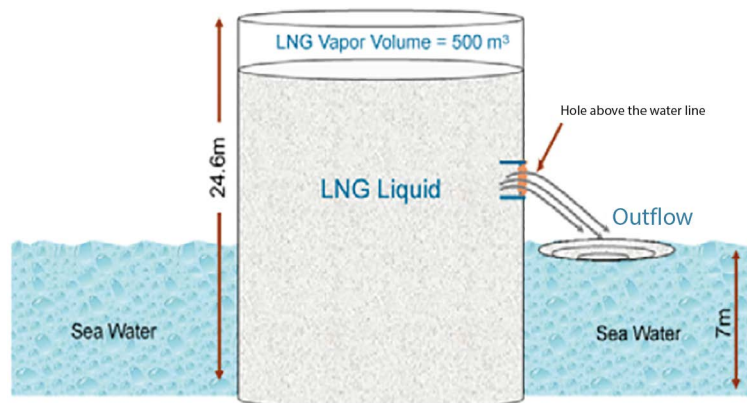


Figure 5. LNG spill from a hole above the water line

Rycina 5. Przypadek wycieku LNG, gdy otwór wycieku usytuowany jest powyżej poziomu wody

Source/Źródło: Melhem G., Saraf S., Ozog H., *Understand LNG Rapid Phase Transitions (RPT)*, ioMosaic Corporation, 2006, [26].

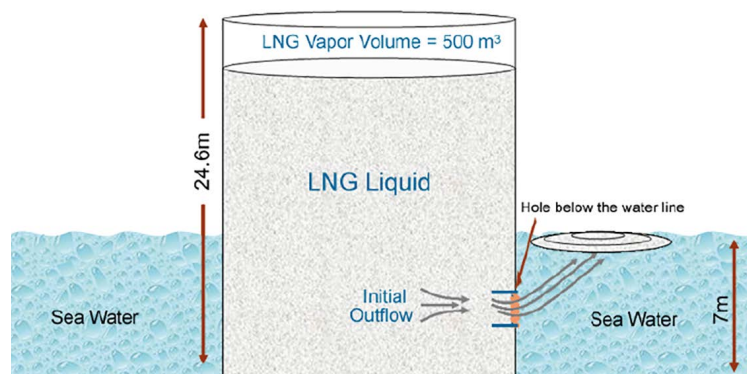


Figure 6. LNG spill from a hole below the water line and below the LNG liquid level

Rycina 6. Przypadek wycieku LNG, gdy otwór wycieku usytuowany jest poniżej poziomu wody oraz poniżej poziomu LNG

Source/Źródło: Melhem G., Saraf S., Ozog H., *Understand LNG Rapid Phase Transitions (RPT)*, ioMosaic Corporation, 2006, [26].

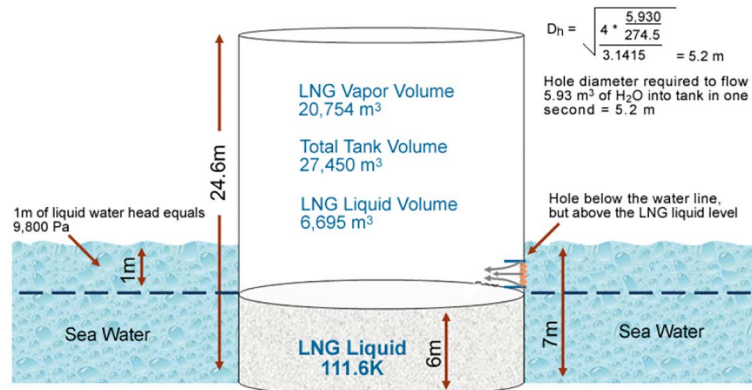


Figure 7. LNG spill from a hole below the water line and above the LNG liquid level

Rycina 7. Przypadek wycieku LNG, gdy otwór wycieku usytuowany jest poniżej poziomu wody oraz powyżej poziomu LNG

Source/Źródło: Melhem G., Saraf S., Ozog H., *Understand LNG Rapid Phase Transitions (RPT)*, ioMosaic Corporation, 2006, [26].

They identified three situations in which RPT can occur [25]:

- when LNG spills from a hole above the water line,
- when LNG spills from a hole below the water line,
- when LNG spills from a hole below the water line but above the LNG liquid level in the cargo tank.

An abrupt evaporation of a cryogenic liquid caused by heat absorbed from water may lead to a sudden rise in pressure. In extreme cases this is considered a physical explosion. According to J. Woodward and R. Pitbalado, RPT can be described in four steps [20]:

1. The Premixing Phase – as soon as the two liquids (water and LNG) meet, a stable vapour mix allows large quantities to intermix because of density and velocity differences, as well as vapour production. The vapour film causes relative low heat transfer between the two liquids. The timescale is in the range of seconds and the length scale is in the range of centimetres.
2. The Triggering Phase – some events produce destabilisation of the vapour film, allowing liquid–liquid contact, causing enhanced heat transfer and pressurisation. The triggering mechanism may include pressure pulses from impact, coolant entrapment within the hot fluid and thermal film destabilisation.
3. The Propagation Phase – LNG, as a coolant, is rapidly heated and pressurised, and this may cause “thermal fragmentation” or “fine fragmentation” as the surrounding hot liquid is penetrated by cold to create a large surface area of contact between the two liquids.
4. The Expansion Phase – the resulting high-pressure mixture expands behind a propagation front against the inertial constraints imposed by the environment. The damage potential depends on how quickly the expansion can be relieved.

When looking at these descriptions of RPT, two interesting questions come to mind to which we have found no answers in

Wskazują oni trzy możliwości powstania RPT [25]:

- gdy otwór wycieku usytuowany jest powyżej poziomu wody,
- gdy otwór wypływu LNG znajduje się poniżej poziomu wody,
- gdy otwór znajduje się poniżej poziomu wody, ale powyżej poziomu LNG w zbiorniku.

Gwałtowne odparowanie cieczy kriogenicznej wywołane ciepłem dostarczanym z wody może być przyczyną nagłego wzrostu ciśnienia, co w ekstremalnych przypadkach może być uznane za wybuch fizyczny. Według J. Woodwarda i R. Pitbalado RPT opisać je można poprzez zastosowanie czterech kroków [20]:

1. Faza mieszania wstępnego – w momencie gdy dwie cieczki (woda i LNG) się spotkają, stabilna warstwa pary (tzw. film parowy) pozwala na ich mieszanie się w dużych ilościach. Jest to efekt różnicy gęstości i prędkości cieczy, jak również zjawiska wytwarzania pary. Film parowy powoduje relatywnie niski przepływ ciepła pomiędzy dwiema cieczkami. Czas trwania zjawiska mieści się w jednej sekundzie, zaś odległość między warstwami wynosi kilka centymetrów.
2. Faza wyzwolenia – niektóre zdarzenia powodują destabilizację warstwy filmu parowego. Stwarzają możliwość kontaktu obu cieczy, a tym samym zwiększoną wymianę ciepła i wzrost ciśnienia. Mechanizm wyzwalający może powodować impulsy ciśnienia będące skutkiem uwieżienia chłodnego LNG w ciepłej wodzie i destabilizację filmu parowego.
3. Faza propagacji – chłodziwo, jakim jest LNG, jest gwałtownie podgrzewane i poddawane działaniu ciśnienia, co może powodować „fragmentację termiczną” lub „drobną fragmentację”. Zimna ciecz (LNG) i otaczająca ją ciepła ciecz (woda) przenikają się wzajemnie. Tworzy się między nimi duża powierzchnia styku.
4. Faza rozprzestrzeniania się – wysokociśnieniowa mieszanina rozszerza się oraz postępuje w kierunku bezwładnościowych ograniczeń narzuconych przez środowisko. Zniszczenia zależą od tego, jak szybko możliwość rozprzestrzeniania się będzie możliwa.

the analysed literature, and which could provide some interesting insights. These are:

1. What is the minimum amount of LNG required for RPT to occur?
2. Is it possible to create conditions allowing RPT to occur on land?

LNG storage tank stratification (rollover)

A rollover (also known as LNG storage tank stratification) is a physical process whereby two or more LNG layers of different composition intermix. This typically produces massive and rapid evaporation of gas, and a surge in tank pressure, which is beyond the tank's capacity and cannot be controlled by operators. Hence, when designing LNG storage tanks, consideration should be given to the consequences of structural tank damage and the uncontrolled discharge of the flammable gas into the atmosphere [27]. It is common for LNG compositions to vary due to the global trend of diversification of supplies. In effect, short-term contracts are becoming more popular than long-term contracts. This means that terminals must handle LNG supplies from various parts of the world, with varying LNG compositions. Other factors contributing to this development may include [11]:

- long-term LNG storage – e.g. to offset seasonal variations in gas supplies (the “ageing” of LNG);
- changes in LNG quality;
- cyclical processes of pumping LNG in and out;
- a large nitrogen content in the stored LNG.

Traditionally, LNG is stored in heavily insulated tanks. Usually, offshore terminals are connected to above-ground cylindrical tanks which allow storage of up to 250,000 m³ of gas at a working pressure of up to 250 mbar. Spherical and prismatic tanks used on LNG carriers can hold up to 50,000 m³ of gas at the same working pressure as storage tanks. Smaller amounts of LNG, up to 10,000 m³, can be stored in vacuum insulated tanks (VIT) at a pressure of 5 bar. Heat penetrating into the tank through its insulation is, however, a regular occurrence. LNG heating, in turn, causes surface-layer stratification and evaporation. The rate of evaporation varies in the range of 0.02–0.2% of the tank's capacity per day, depending on the tank type [13]. To illustrate how real the risk of rollover is, it is worth mentioning the study undertaken by GIINGL (the International Group of Liquefied Natural Gas Importers) in 1981 to investigate rollover-associated incidents. The study identified 41 incidents which occurred in 22 plants between 1970 and 1982. Most of the incidents were found to have been caused by liquids of different densities intermixing in the tank. Four incidents were identified as resulting from nitrogen accumulation [28].

Rollover is essentially a thermodynamic process. Figure 8 on the left shows an LNG tank without stratification. As methane evaporates from the surface, which cools down due to heat from

Wśród informacji i opisów związanych z RPT interesujące wydają się dwa pytania, na które autorzy nie znaleźli do tej pory odpowiedzi w analizowanych materiałach, a które stanowiłyby interesujący wkład do prowadzonych badań:

1. Jaka jest minimalna wymagana ilość LNG do wystąpienia zjawiska RPT?
2. Czy możliwe jest stworzenie warunków na lądzie, które umożliwiłyby wystąpienie RPT?

Rozwarstwienie ciekłego LNG w zbiorniku (rollover)

Zjawisko Rollover (zwane również rozwarstwieniem ciekłego LNG w zbiorniku) jest procesem fizycznym mieszania się pomiędzy dwiema lub więcej warstwami LNG o różnych składach. Zazwyczaj wynikiem zjawiska rollover jest znaczne i szybkie odparowanie gazu oraz nagły wzrost ciśnienia w zbiorniku przekraczający techniczne możliwości zbiorników i umiejętności operatorów. W związku z tym na etapie projektowania zbiorników konieczne jest uwzględnienie konsekwencji wynikających z uszkodzenia konstrukcji zbiorników oraz niekontrolowanego odprowadzenia łatwopalnego gazu do atmosfery [27]. Różnica w składach LNG wynika z ogólnoświatowej tendencji do dywersyfikacji źródła dostaw. Co za tym idzie, słabnie popularność długoterminowych kontraktów dostaw na rzecz kontraktów krótkoterminowych. Oznacza to, że terminale LNG muszą radzić sobie z surowcem pochodzącym z różnych stron świata, a tym samym o różnym składzie chemicznym. Dodatkowo czynnikami wpływającymi na powstawanie omawianego zjawiska mogą być m.in. [11]:

- składowanie LNG przez długi czas, np. na potrzeby pokrywania sezonowych wahań w poborach gazu (tzw. „starzenie się” LNG);
- zmiany w jakości LNG;
- cykliczne procesy wpompowywania i odpompowywania skroplonego gazu;
- duża zawartość azotu w składowanym LNG.

Tradycyjnie LNG przechowywany jest w silnie izolowanych termicznie zbiornikach. Najczęściej z instalacjami brzegowymi połączone są zbiorniki cylindryczne naziemne, które umożliwiają przechowywanie do 250 tys. m³ gazu przy ciśnieniu roboczym do 250 mbar. Zbiorniki kuliste i przyrządkowe stosowane są w transportowcach LNG i mają pojemność do 50 tys. m³ przy takim samym ciśnieniu roboczym jak zbiorniki magazynowe. Mniejsze ilości LNG są najczęściej przechowywane w izolowanych zbiornikach próżniowych (VIT) przy ciśnieniu 5 bar i max. objętości 10 tys. m³. Zjawiskiem typowym jest dostawanie się ciepła do zbiornika przez izolację. Ogrzewanie się ładunku LNG z kolei prowadzi do rozwarstwienia warstwy powierzchniowej i odparowania. Szybkość odparowania zależy od typu zbiornika i waha się od 0,02% do 0,2% objętości zbiornika dziennie [13]. Aby uświadomić sobie realność zjawiska rollover, warto przytoczyć badania GIINGL rozpoczęte w 1981 r. dotyczące incydentów o symptomach rollover. W wyniku tych prac zidentyfikowano 41 zdarzeń, które miały miejsce w latach 1970–1982 w 22 zakładach przemysłowych. Jako przyczynę większości incydentów wskazano mieszanie się w jednym zbiorniku cieczy

the surroundings, the density of the surface layer increases and the liquid recedes. The heat penetrating into the tank through its bottom and insulated walls is enough to increase the temperature of side layers and cause the liquids to intermix due to the convection currents. An LNG rollover cannot happen in these conditions. In order for a rollover to occur, the fluid must be stratified in the tank, as shown by the tank to the right in Figure 8. Stratification happens primarily when:

- a “new” gas transferred into the tank has a greater density than the “old” portion of LNG remaining in the tank, and the tank is filled from the bottom up;
- a “new gas” transferred into the tank is lighter than the “old” LNG remaining in the tank, and the filling is done from the top down.

o różnych gęstościach. Cztery incydenty zostały oznaczone jako zdarzenia spowodowane zgromadzeniem się azotu [28].

Rollover jest procesem opartym na zjawiskach termodynamicznych. Na rycinie 8 po lewej stronie przedstawiono zbiornik LNG bez tzw. stratyfikacji, czyli rozwarstwienia. Metan odparowuje z powierzchni, która się wychładza z powodu dostarczania ciepła z otoczenia. Powoduje to wzrost gęstości warstwy powierzchniowej i opadanie cieczy. Ciepło, które przenika do zbiornika przez jego dno i izolowane ściany, wystarcza do ogrzania warstw bocznych i mieszania się cieczy na skutek prądów konwekcyjnych. W tym przypadku rollover LNG nie może wystąpić. Warunkiem koniecznym do wystąpienia zjawiska rollover jest rozwarstwienie cieczy w zbiorniku widoczne w prawym zbiorniku przedstawionym na rycinie 8. Do rozwarstwienia może dochodzić najczęściej, gdy:

- wprowadzany do zbiornika „nowy” gaz będzie bardziej gęsty niż pozostająca w zbiorniku „stara” część LNG, a napełnianie zbiornika odbywa się od dołu;
- wprowadzany do zbiornika „nowy” LNG będzie lżejszy od pozostającego w zbiorniku LNG, a napełnianie będzie odbywało się od góry.

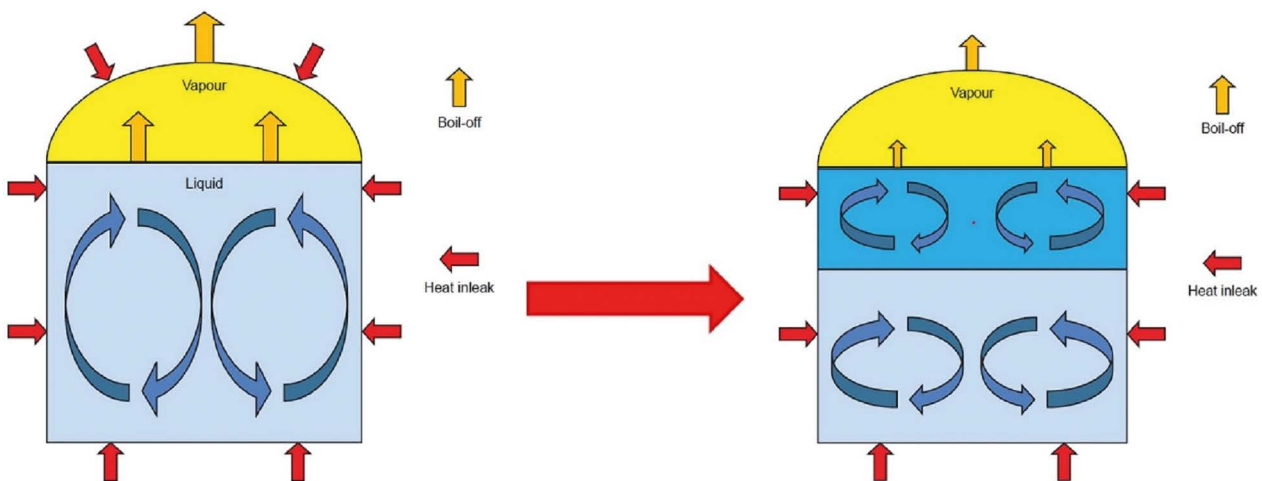


Figure 8. Stratification phenomena in LNG tanks

Rycina 8. Zjawiska obserwowane w zbiornikach z LNG wynikające z jego rozwarstwienia

Source/Źródło: SIGTTO, *Guidance for the Prevention of Rollover in LNG Ships*, Witherby Publishing Group Ltd, Edinburgh 2012, [13].

Various studies exist to show that a 1 kg/m^3 difference in density between the gas being transferred into the tank and the gas that is already in it is sufficient to produce stratification, provided that the filling process is very slow [13]. The key parameter and, at the same time, sign of stratification is a decrease in the rate at which the liquid evaporates.

The top layer of the liquid in the tank returns the heat absorbed during evaporation. However, the transfer of heat between the bottom and top layers of the liquid is limited. This is caused by LNG’s poor heat transfer capability and the difference in the liquid’s density. The result is heat absorption by the bottom layer of the liquid. As the liquid absorbs heat, the temperature of the bottom layer increases and its density decreases. Once both

Badania pokazują, że różnica między gęstością gazu wprowadzanego a tym już obecnym w zbiorniku rzędu 1 kg/m^3 może spowodować rozwarstwienie, tylko jeśli gaz będzie wprowadzany bardzo powoli [13]. W przypadku zjawiska rozwarstwienia kluczowym parametrem i jednocześnie symptomem jest zmniejszenie szybkości parowania cieczy.

Górna warstwa cieczy w zbiorniku oddaje pochłonięte ciepło przez parowanie. Ograniczona jest z kolei wymiana ciepła pomiędzy dolną i górną warstwami cieczy. Jest to spowodowane słabą wymianą cieplną LNG oraz różnicą w gęstości cieczy. Następstwem tego jest pochłanianie ciepła przez dolną warstwę cieczy. Gromadzone ciepło powoduje wzrost temperatury i zmniejszenie gęstości warstwy dolnej. Gdy gęstości obu warstw się zrównają,

layers have the same density, the bottom layer will move over the top layer, generating large volumes of vapours and energy in the process – i.e. causing a rollover [13].

M. Łaciak proposed a computational algorithm to predict rollover time as a tool to control the rollover risk. His model is based on matching the physicochemical parameters of LNG. The model can be solved iteratively by changing the composition and thermodynamics of the liquid's layers with each iteration, until the investigated parameters are equal (see Figure 9).

As mentioned above, there is a history of incidents proving that rollover is a real risk. The most serious incidents, often mentioned in literature, happened in:

- 1971 in the Laz Spezia terminal in Italy;
- 1993 in the LNG storage tank in Partington, UK;
- 2008 on the Moss Rosenberg carrier.

Risk scenarios for the LNG supply chain

In addition to risks associated with the physicochemical properties of LNG, some literature explores scenarios involving risks related to terminal failures, human errors and acts of terrorism. In essence, these risks are what T.N. Nicholas referred to as “black swans” – events with unpredictable consequences. “Black swans” are extremely rare events. Albeit on the very low end of the probability spectrum, their occurrence has immense impact on the environment and the world. Taleb, in turn, investigated the essence of volatility and risk estimation in times when automated future predictions are impossible [29]. Based on our review of literature, we have identified scenarios of risks related to:

- air attacks against LNG terminals [31];
- attacks using small ships/fast motorboats or conventional ships [31];
- underwater attacks involving scuba divers equipped with explosives [30].

The above scenarios have been constructed by a team of researchers led by K. Ślącza, and by K. Prill and K. Cieszyńska. They relate to events to which the LNG terminal in Świnoujście may be exposed. In regard to Scenario 1, the authors noted that “a terrorist takeover of an aircraft is highly unlikely but possible. Although unlikely, it is possible for commercial and private aircrafts to reach the area in the vicinity of the Świnoujście LNG terminal. Hence, one could imagine a scenario in which commercial or private aircrafts are used as a weapon to launch an air attack against the LNG terminal and the vessels stationed there. (...) There are two airfields within 50 km from the Świnoujście terminal – the military airfield in Dziwnów and the landing field in Pasewalk. A hijacked aircraft could easily take off from there, and given the short distance, it would probably reach the target undetected” [31].

warstwa dolna przemieści się ponad warstwę górną, generując przy tym duże objętości oparów oraz energii – rollover [13].

M. Łaciak jako narzędzie do przeciwdziałania zjawisku rollover proponuje algorytm obliczeniowy służący do przewidywania czasu do wystąpienia zjawiska. Zaproponowany model bazuje na dopasowaniu parametrów fizykochemicznych LNG. Model można rozwiązywać iteracyjnie, zmieniając przy każdej iteracji skład i termodynamikę warstw cieczy aż do momentu zrównania parametrów (zob. ryc. 9).

Jak wspomniano wyżej, o realności zjawiska rollover świadczą incydenty, które miały miejsce w przeszłości. Do najbardziej dotkliwych zdarzeń, które są często przywoływane w różnych źródłach literaturowych, doszło:

- w 1971 r. w terminalu La Spezia we Włoszech,
- w 1993 r. w zbiorniku do przechowywania LNG, w Partington w Wielkiej Brytanii,
- w 2008 r. na tankowcu Moss Rosenberg.

Scenariusze zagrożeń łańcucha dostaw LNG

Oprócz zagrożeń wynikających z właściwości fizykochemicznych LNG w literaturze spotkać można pozycje literaturowe, które bazują na scenariuszach działań uwzględniających zagrożenia wynikające z awarii terminali, błędów ludzkich czy umyślnych działań o charakterze terrorystycznym. Otwiera to pole do badań zagrożeń, które – idąc za T.N. Nicholasem – nazwać można „czarnymi łabędziami” (*black swans*). Są to zdarzenia o nieprzewidywalnych skutkach. „Czarne łabędzie” to wydarzenia niezwykle rzadkie, znajdujące się na samym krańcu ogona rozkładu prawdopodobieństwa, ale wywierające olbrzymi wpływ na otoczenie i świat. Istotą zmienności i szacowaniem ryzyka w czasach, w których nie można w sposób automatyczny przewidywać przyszłości, zajmuje się Taleb [29]. Wśród prowadzonego przeglądu literatury autorzy doszukanali się scenariuszy zagrożeń związanych m.in. z:

- atakiem na terminal LNG z powietrza [31];
- atakiem przy pomocy małego statku/szybkiej łodzi motorowej lub statku konwencjonalnego [31];
- atakiem podwodnym z udziałem nurka uzbrojonego w materiały wybuchowe [30].

Wymienione powyżej scenariusze zostały stworzone przez zespół W. Ślącza, K. Prill oraz K. Cieszyńską i dotyczą zdarzeń, na które narażony może być terminal LNG w Świnoujściu. Odnośnie scenariusza 1 autorzy wskazują, że „zajęcie statku powietrznego przez terrorystów jest bardzo mało prawdopodobne, ale możliwe. Dostępność jednostek powietrznych o przeznaczeniu komercyjnym i prywatnym w pobliżu terminala LNG w Świnoujściu jest mała, ale zarazem możliwa. Dlatego też scenariusz ataku z powietrza na terminal LNG i znajdujące się na nim jednostki można rozważyć z perspektywy możliwości użycia statku powietrznego o charakterze komercyjnym lub prywatnym jako broni. (...) W obrębie 50 km od lokalizacji terminala Świnoujście znajdują się dwa lotniska. Lotnisko wojskowe w Dziwnowie oraz lądowisko w Pasewalku. Są to miejsca, z których uprowadzona jednostka powietrzna mogłaby bez większych problemów wystartować, a z których odległość do celu redukuje prawdopodobieństwo wykrycia” [31].

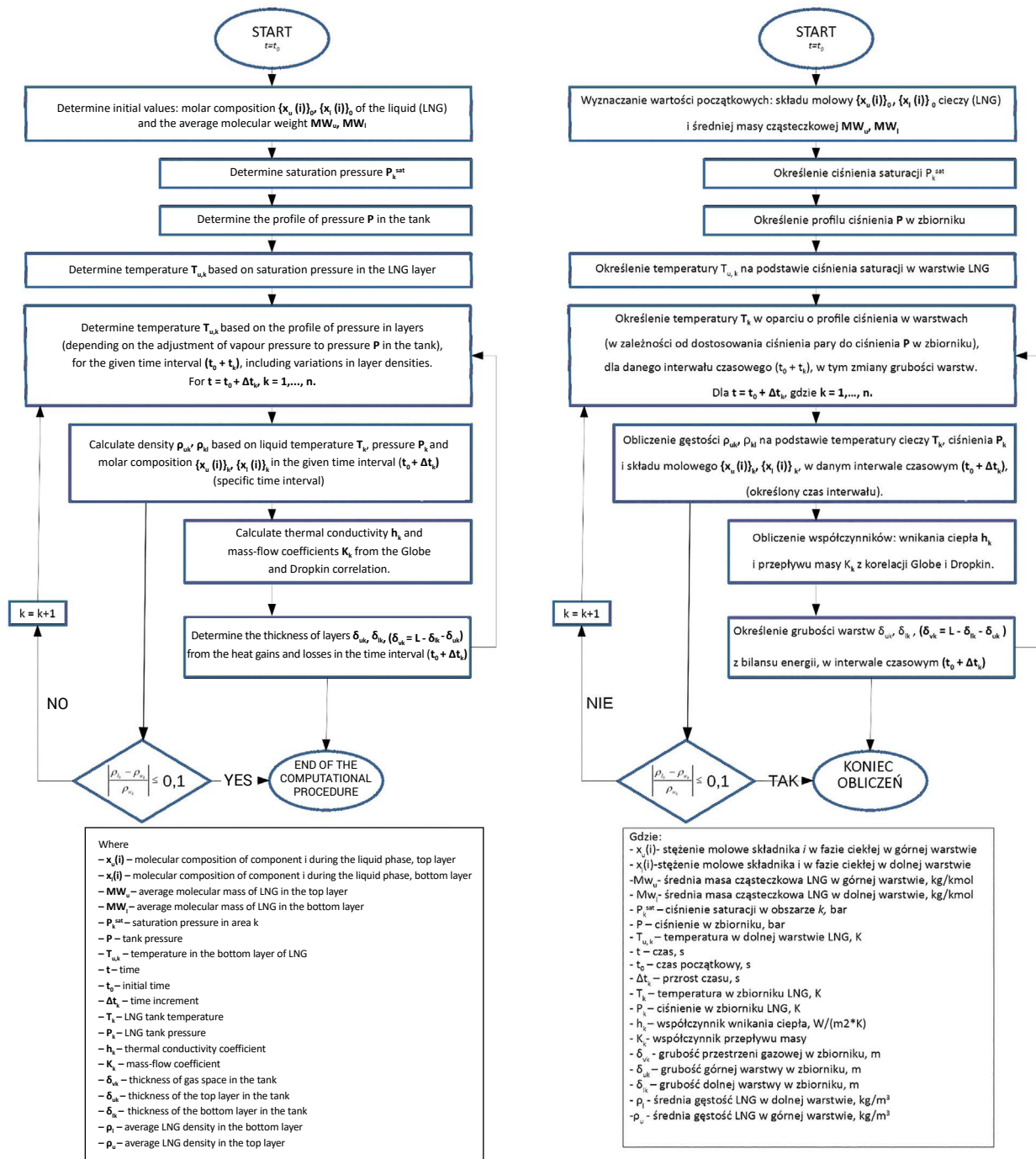


Figure 9. Algorithm for computing changes in density to determine rollover time

Rycina 9. Algorytm obliczania zmian gęstości cieczy w zbiorniku, w celu określenia czasu do wystąpienia zjawiska rollover

Source/Źródło: Łaciak M., *Liquefied Natural Gas storage of variable composition*, "Archives of Mining Sciences" 2015, [29].

Scenario 2 (attacks using small ships/fast motorboats or conventional ships) assumes the following [31]:

- an attack on the LNG terminal in Świnoujście could be carried out using a civilian motorboat laden with explosives;
- instead of attacking directly the terminal infrastructure, a fast motorboat could be used to carry out an attack against an LNG carrier directly in the outer harbour, or when the carrier is approaching the terminal;
- a fast motorboat could be laden with a sufficient amount of explosives to damage the inner-hull shell and cause cargo to explode;
- the attack could happen at night or at dusk/dawn. Despite poor visibility, boat drivers are able to positively identify the target and use the optical navigation system. The attack is also much less likely to be detected.

Scenario 3 involves a scuba diver equipped with explosives. In order for this scenario to happen, however, the vessel would have to stand still. What is more, the underwater operation would involve time constraints; the scuba diver would have to carry a small amount of powerful explosives, and the attack would need to be carried out in summer at night or at dawn, since the waves and water currents are weaker at that time [31].

The above-described examples prove that it is reasonable to construct such scenarios. Furthermore, as noted by the authors of *Metodyka oceny ryzyka na potrzeby zarządzania kryzysowego RP* ("A risk assessment methodology for crisis management in Poland"), such scenarios are constructed to [32]:

- collect risk assessment data all in one place;
- describe the sequence of events resulting from the spread of dynamic risk, including the related consequences.

In addition, such scenarios allow those involved in risk assessment to recognise specific threats and their consequences, make connections between event consequences, detect a domino effect and identify the quantities required for computations [32]. This could be particularly important for LNG-related risks due to their nature. Table 5 shows data on LNG-related accidents gathered by E. Vanema's team [33]. They may serve as an interesting indication of which scenarios should be prioritised, and how to make connections between selected risks.

The LNG-related scenarios provided above should necessarily be included in the planned LNG risk assessment methodology.

Założenia autorów do scenariusza 2 (atak przy pomocy małego statku/szybkiej łodzi motorowej lub statku konwencjonalnego) to [31]:

- jednostką użytą do ataku na terminal LNG w Świnoujściu może być szybka łódź motorowa o przeznaczeniu cywilnym wypełniona materiałami wybuchowymi;
- szybka łódź motorowa może być wykorzystana do ataku na gazowiec LNG, znajdując się bezpośrednio w porcie zewnętrznym lub będąc w trakcie manewrów podejścia do terminala, a nie bezpośrednio w infrastrukturę terminala;
- szybka łódź motorowa może być wypełniona odpowiednią ilością materiału wybuchowego pozwalającego na dokonanie uszkodzeń powłoki wewnętrznego kadłuba i wybuchu przewożonego ładunku;
- do ataku może dojść w porze nocnej lub zmierzchu/światła. Pomimo słabej widoczności osoby prowadzące łódź są w stanie dokonać pozytywnej identyfikacji celu oraz prowadzić nawigację optyczną. Natomiast prawdopodobieństwo wykrycia ataku będzie zdecydowanie obniżone.

Scenariusz 3 z kolei wiąże się z wykorzystaniem nurka uzbrojonego w materiały wybuchowe. Przeprowadzenie ataku w sposób opisany przez autorów w scenariuszu wymaga jednak, aby jednostka nie znajdowała się w ruchu. Dodatkowo operacja pod wodą musiałaby być ograniczona w czasie; nurek musiałby posiadać niewielką ilość materiału wybuchowego o dużej sile rażenia, zaś atak musiałby być przeprowadzony latem w porze nocnej lub o zmierzchu ze względu na małe falowanie i słaby prąd wodny w tym okresie [31].

Przytoczone powyżej przykłady świadczą o słuszności podjęcia trudu związanego z budową scenariuszy. Dodatkowo, jak piszą autorzy *Metodyki oceny ryzyka na potrzeby zarządzania kryzysowego RP*, scenariusze tworzy się po to, aby [32]:

- zebrać dane do szacowania ryzyka w jednym miejscu;
- opisać ciąg zdarzeń wynikających z rozprzestrzeniania się zagrożenia dynamicznego wraz ze skutkami jakie niesie za sobą.

Oprócz tego scenariusz pozwala szacującemu ryzyko na uzmysłowienie sobie obrazu zagrożenia wraz z jego skutkami, powiązanie następstw zdarzeń, wykrycie zjawiska domina i identyfikacji tych wielkości, które są niezbędne do ewentualnych obliczeń [32]. Szczególnie znaczenie może mieć to w przypadku zagrożeń związanych z LNG, ze względu na charakter możliwych zagrożeń. W tabeli 5 zostały wskazane dane o wypadkach z udziałem LNG zebrane przez zespół E. Vanema [33]. Stanowiąc mogą interesujące wskazanie tego, jakie scenariusze zdarzeń powinny być rozpatrywane w największym stopniu oraz jak powiązać wybrane zagrożenia ze sobą.

Przywołane przykłady scenariuszy zdarzeń z LNG świadczą o konieczności ich uwzględnienia w planowanej metodycie oceny ryzyka zdarzeń z LNG.

Table 5. LNG-related accidents by category
Tabela 5. Wypadki z udziałem LNG z podziałem na kategorie

Event category Kategoria zdarzenia	Number of events Liczba zdarzeń	Frequency (per year) Częstość (na rok)
Collision/Kolizja	19	6.7×10^{-3}
Running aground/Utknięcie na mieliźnie	8	2.8×10^{-3}
Ships coming into contact/Kontakt/zetknięcie się statków	8	2.8×10^{-3}
Fire and explosion/Pożar i wybuch	10	3.5×10^{-3}
Failure of equipment and machinery/Awaria sprzętu i maszyn	55	1.9×10^{-2}
Difficult weather conditions/Trudne warunki pogodowe	9	3.2×10^{-3}
Loading/unloading events/Zdarzenia podczas załadunku / rozładunku	22	7.8×10^{-3}
Failure of the cargo storage system/Awaria systemu przechowywania ładunku	27	9.5×10^{-3}
TOTAL/ ŁĄCZNIE	158	5.6×10^{-2}

Source/Źródło: Vanem E., Antao P., Østvik I., Del Castillo de Comas F., *Analysing the risk of LNG carrier operations*, "Reliability Engineering and System Safety" 2008, [33].

Summary and findings

1. There is extensive literature on the global LNG market. However, this is not the case for the Polish LNG market, as detailed studies on this subject are hard to come by.
2. With the expansion of the LNG market, new risks are emerging in the transportation and storage of liquefied natural gas. Most literature on the subject investigates explosion risks, and the risks of rollover and rapid phase transition – two phenomena specific to LNG. These risks are associated with the physicochemical properties of LNG.
3. Furthermore, there is a body of works dealing with risks analysis based on the scenario method in which the authors analyse problems and risks according to certain scenarios.
4. We found numerous in-depth investigations of the phenomena and risks occurring on the macroscale, i.e. involving the LNG supply chain and the storage of large amounts of LNG. Conversely, it is difficult to find studies into the microscale LNG risks – that is, risks associated with the use of LNG at filling stations, vehicular transport of LNG, and accidents involving LNG-powered vehicles.
5. The future challenge is to develop a method to assess microscale LNG-related risks for the purposes of supporting and planning the operations of emergency services, including their management.
6. Our review of LNG-related risks may serve as a useful reference, as well as providing an impulse to develop procedures for rescue operations involving LNG incidents.

Podsumowanie i wnioski

1. W aktualnie funkcjonującej literaturze występują liczne pozycje, które opisują rynek LNG w skali światowej. Bardzo trudno doszukać się szczegółowego opisu rynku polskiego LNG.
2. Rozwój rynku LNG staje się przyczynkiem do powstawania zagrożeń związanych z procesem transportowania i magazynowania LNG. W literaturze przedmiotu najczęściej pojawiają się opisy dotyczące zagrożeń wybuchowych oraz charakterystycznych dla LNG, tj.: rollover czy Rapid Phase Transition. Zagrożenia te wynikają z właściwości fizykochemicznych LNG.
3. W literaturze spotkać można również analizy zagrożeń z użyciem tzw. metod scenariuszowych, gdzie autorzy analizują problemy i zagrożenia przy założeniu pewnego scenariusza zdarzenia.
4. W literaturze bardzo dokładnie opisane są zjawiska i zagrożenia występujące w skali makro, czyli dotyczące łańcucha dostaw i magazynowania dużych ilości LNG. Bardzo trudno doszukać się zagrożeń odnoszących się do skali mikro obrotu LNG, czyli zagrożeń wynikających z użytkowania LNG na stacjach tankowania, przewozu LNG pojazdami samochodowymi czy wypadków z udziałem pojazdów zasilanych LNG.
5. Wyzwaniem na przyszłość jest opracowanie metody oceny ryzyka zagrożeń związanych z wyciekami LNG w skali mikro, która będzie mogła być wykorzystana na potrzeby działania służb oraz planowania pracy służb, w tym ustalania procesów zarządzania służbami.
6. Dokonany przegląd zagrożeń LNG stanowić może wartościowy punkt odniesienia oraz impuls do opracowania procedur, jakimi kierować muszą się ratownicy w przypadku obsługi zdarzeń z LNG.

Literature / Literatura

- [1] *Historia*, Strona internetowa polskielng.pl, <http://www.polskielng.pl/terminal-Ing/Ing-w-pigulce/historia-Ing/>, [dostęp: 13.03.2019].
- [2] Rosłonek G., *Skroplony gaz ziemny – LNG. Część I – Zagadnienia ogólne i podstawy procesu rozliczeniowego*, „Nafta-Gaz” 2016, 2, 87–94.
- [3] International Gas Union, *2017 World LNG Report*, Barcelona 2017.
- [4] Natural Gas Vehicle Knowledge Base, *Current Natural Gas Vehicle Statistics*, www.iangv.org/current-ngv-stats/ [dostęp: 18.03.2019].
- [5] <https://www.mza.waw.pl/spolka-mza/aktualnosci/685-mani-solaris=chca-dostarczyc-autobusy-gazowe-dla-stolicy?highlight=WyJsbmciXQ==> [dostęp: 18.03.2019].
- [6] Dziechciarz A., Lesiak P., Bąk D., *Analiza możliwości wykorzystania programu RizEx-2 w symulacji przebiegu zdarzenia awaryjnego na przykładzie wybuchu gazu w Port Hudson*, BiTP Vol. 38 Issue 2, 2015, 143–155, <https://doi.org/10.12845/bitp.38.2.2015.13>.
- [7] Planas E., Pastor E., Casal J., Bonilla J. M., *Analysis of the Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion (bleve) of a liquefied natural gas road tanker: the Zarzalico accident*, “Journal of Loss Prevention in the Process Industries” 2015, 34, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.01.026>.
- [8] PGNiG, *Karta Charakterystyki. Gaz ziemny skroplony – LNG*, 2017.
- [9] Łaciak M., *Techniczne i technologiczne problemy eksploatacji terminali rozładunkowych LNG*, „Wiertnictwo. Nafta, Gaz” 2011, 28, 3, 507–520.
- [10] GIIGNL, *The LNG industry GIIGNL ANNUAL REPORT 2018*, International Group of Liquefied Natural Gas Importers, 2019.
- [11] Sedlaczek R., *Charakterystyka zagrożeń związanych z transportowaniem i magazynowaniem skroplonego gazu ziemnego – LNG*, „Wiertnictwo. Nafta, Gaz.” 2010, 27, 3, 601–615.
- [12] Pitblado R.M., Woodward J.L., *Highlights of LNG risk technology*, “Journal of Loss Prevention in the Process Industries” 2011, 24, 827–836, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2011.06.009>.
- [13] SIGTTO, *Guidance for the Prevention of Rollover in LNG Ships*, Witherby Publishing Group Ltd, Edinburgh 2012.
- [14] Dalaklis D., *Effective Fire-fighting Strategies for LNG During Bunkering*, 2015.
- [15] Havens J., Spicer T., *United States Regulations for Siting LNG Terminals: Problems and Potential*, “Journal of Hazardous Materials” 2007, 140, 3, 439–443, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.10.020>.
- [16] Schneider A.L., *Liquefied Natural Gas Safety Research Overview*, U.S. Department of Transportation, Springfield, Virginia 1979.
- [17] Nwaoha T Ch., *Advanced risk and maintenance modelling in LNG carrier operations*, Liverpool John Moores University, 2011.
- [18] Markowski A.S., Siuta D., *Fuzzy Logic Approach to Calculation of Thermal Hazard Distances in Process Industries*, “Process Safety and Environmental Protection” 2014, 92, 338–345, <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.02.005>.
- [19] Siuta D., Markowski A.S., Mannan M.S., *Uncertainty Techniques in Liquefied Natural Gas (LNG) Dispersion Calculations*, “Journal of Loss Prevention in the Process Industries” 2013, 26, 418–426, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2012.07.020>.
- [20] Woodward J.L., Pitblado R. M., *LNG RISK BASED SAFETY. Modeling and Consequence Analysis*, John Wiley & Sons Inc. Publication, New Jersey 2010.
- [21] *Guidelines for Consequence Analysis of Chemical Releases*, Centre for Chemical Process Safety, New York 1999.
- [22] 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, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.056>.
- [23] Kaushik M., *What is Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion (BLEVE) on Gas Carrier Ships?*, <https://www.marineinsight.com/tech/what-is-boiling-liquid-expanding-vapour-explosion-bleve-on-gas-carrier-ships/> [dostęp: 25.04.2019].
- [24] Burgess D.S., Murphy J.N., Zabetakis M.G., *Report of Investigations 7448. Hazards Associated with the Spillage of Liquefied Natural Gas on Water*, United States Department of the Interior, Washington D.C. 1970.
- [25] Fay J., *Model of spills and fires from LNG and oil tankers*, “Journal of Hazardous Materials” 2002, 1–18, [https://doi.org/10.1016/S0304-3894\(02\)00197-8](https://doi.org/10.1016/S0304-3894(02)00197-8).
- [26] Melhem G., Saraf S., Ozog H., *Understand LNG Rapid Phase Transitions (RPT)*, ioMosaic Corporation, 2006.
- [27] Kulista M., Wood D.A., *LNG rollover challenges and their mitigation on Floating Storage and Regasification Units: New perspectives in assessing rollover consequences*, “Journal of Loss Prevention in the Process Industries” 2018, 54, 352–272, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.04.007>.
- [28] GIIGNL, *Rollover in LNG Storage – An Industry View: A Acton and RC Van Meerbeke – LNG*, 1986.
- [29] Łaciak M., *Liquefied Natural Gas storage of variable composition*, “Archives of Mining Sciences” 2015, 60, 1, 225–238, <https://doi.org/10.1515/amsc-2015-0015>.
- [30] Nicholas T. N., *Czarny łabędź. O skutkach nieprzewidywalnych zdarzeń*, Kurhaus Publishing, Nowy Jork 2015.
- [31] Ślęczka W., Prill K., Cieszyńska K., *Określenie potencjalnych zagrożeń dla terminali LNG na przykładzie terminala LNG w Świnoujściu*, „Logistyka” 2010, 4.
- [32] Skomra W. (red.), *Metodyka oceny ryzyka na potrzeby systemu zarządzania kryzysowego RP*, BEL Studio Sp. z o.o, Warszawa 2015.
- [33] Vanem E., Antao P., Østvik I., Del Castillo de Comas F., *Analyzing the risk of LNG carrier operations*, “Reliability Engineering and System Safety” 2008, 93, 1328–1344, <https://doi.org/10.1016/j.ress.2007.07.007>.

ADRIAN BRALEWSKI, PH.D. ENG. – faculty member at the Main School of Fire Service. In May 2019, he obtained the degree of Doctor of Safety Science from the War Studies University. His research interests include risk assessment, risk analysis, risk modelling, systemic and supplemental factors, and crisis management.

PROF. JERZY WOLANIN, D.SC. – faculty member at the Department of Civil Safety Engineering, the Main School of Fire Service. He is an expert in risk analysis, management and modelling, and civil protection.

DR INŻ. ADRIAN BRALEWSKI – pracownik Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Uzyskał tytuł doktora w dziedzinie nauk o bezpieczeństwie obroniony w maju 2019 r. w Akademii Sztuki Wojennej. Zainteresowania naukowe autora: ocena ryzyka, analiza ryzyka, modelowanie zagrożeń, czynniki systemowe i suplementowe, zarządzanie kryzysowe.

PROF. DR HAB. JERZY WOLANIN – zatrudniony w SGSP w Katedrze Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego. Ekspert w zakresie analizy ryzyka, zarządzania ryzykiem, modelowania zagrożeń, a także w obszarze ochrony ludności.

Ilona Tomczyk-Wydrych^{a)}, Anna Rabajczyk^{b)}*

^{a)} *The State Water Holding Polish Waters / Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie*

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

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

Transformations of Metal Nanoparticles in the Aquatic Environment and Threat to Environmental Safety

Przemiany nanocząsteczek metali w środowisku wodnym i zagrożenie dla bezpieczeństwa środowiskowego

ABSTRACT

Purpose: The aim of the article is to provide information on the transformation and interaction of metal nanoparticles in the aquatic environment.

Introduction: Nanotechnology is one of the leading fields of science, combining knowledge in the fields of physics, chemistry, biology, medicine, computer science and engineering. Nanoparticles of heavy metals, due to their structure and size, exhibit new important biological, chemical and physical properties, which are impossible to achieve at the level of macro- and microscopic structures. Nanoparticles of metal and metal oxides (NPMOs) are promising substances with a wide spectrum of applications in many areas. The increasing number of products based on (NPMOs) leads to the emission of an increasing amount of these substances in various forms to the environment. The presence of NPMOs in industrial and municipal sewage affects their further migration to surface waters and soils, which in turn also leads to their introduction into the food chain. Therefore, understanding the properties and behaviour of these substances in aqueous solutions is becoming a priority in the field of safety, environmental protection and human health.

Methodology: The article was prepared on the basis of a review of the literature on the subject.

Conclusions: Nanoparticles of metals and metal oxides are widely used in various areas of human life, which means that they constitute an increasingly important group of compounds released to the environment, including to surface waters. Nanoparticles of metal and metal oxides play an important role in the aquatic environment, affecting numerous biophysicochemical processes. However, it should be noted that many of the processes that NPMOs undergo are determined by the size of the grains and surfaces of nanoparticles, and the metals that form the basis of these nanosubstances. Processes such as agglomeration, sedimentation, sorption on the surface of organisms, oxidation and catalysis are conditioned by numerous parameters such as the presence of other substances, the acidification/alkalization of the aquatic environment, and the presence of plant and animal organisms. In order to assess the actual or potential threat to the environment or human exposure, it is necessary to explore the mechanisms and kinetics of processes occurring in the aquatic environment with respect to nanoparticles of metals and metal oxides. Knowledge of NPMOs processes in the aquatic environment is necessary to create or enhance environmental migration models.

Keywords: metal nanoparticles, surface waters, migration, transformations

Type of article: review article

Received: 06.11.2019; **Reviewed:** 19.12.2019; **Accepted:** 19.12.2019;

Authors' ORCID IDs: I. Tomczyk-Wydrych – 0000-0002-1278-2615; A. Rabajczyk – 0000-0003-4476-8428;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 54–68, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.4>;

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 przedstawienie informacji na temat przemian i interakcji nanocząstek metali zachodzących w środowisku wodnym.

Wprowadzenie: Nanotechnologia to jedna z wiodących dziedzin nauki, łącząca wiedzę z obszaru fizyki, chemii, biologii, medycyny, informatyki i inżynierii. Nanocząstki metali ciężkich, ze względu na budowę i rozmiary, wykazują nowe istotne właściwości biologiczne, chemiczne oraz fizyczne, niemożliwe do osiągnięcia na poziomie makro- i mikroskopowych struktur. Nanocząstki metali i tlenków metali są atrakcyjnymi substancjami o szerokim spektrum zastosowań w wielu dziedzinach. Wzrost produkcji wyrobów z wykorzystaniem nanocząstek metali i tlenków metali (NPMOs) sprawia, że coraz większa liczba tych substancji przedostaje się do środowiska. Obecność NPMOs w ściekach przemysłowych i miejskich wpływa na ich dalszą migrację do wód powierzchniowych oraz gleb, co w konsekwencji skutkuje także wprowadzeniem ich do łańcucha pokarmowego. Dlatego też poznanie właściwości i zachowania tych substancji w roztworach wodnych staje się priorytetem w dziedzinie bezpieczeństwa, ochrony środowiska i człowieka.

Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie przeglądu literatury z zakresu poruszanej tematyki.

Wnioski: Nanocząstki metali i tlenków metali są powszechnie stosowane w różnych dziedzinach życia człowieka, co powoduje, że stanowią coraz bardziej istotną grupę związków emitowanych do środowiska, w tym do wód powierzchniowych. Nanocząstki metali i tlenków metali odgrywają istotną rolę w środowisku wodnym, determinując liczne procesy biofizykochemiczne. Należy jednak zaznaczyć, że wiele procesów, którym ulegają NPMOs, uwarunkowana jest wielkością ziaren i powierzchni nanocząstek oraz metalami, stanowiących bazę tych nanosubstancji. Procesy takie jak aglomeracja, sedimentacja, sorpcja na powierzchni organizmów, utlenianie czy kataliza, uwarunkowane są licznymi parametrami, m. in. obecnością innych substancji, zakwaszeniem/alkalizacją środowiska wodnego, obecnością organizmów roślinnych i zwierzęcych. Konieczne jest poznanie mechanizmów oraz kinetyki procesów zachodzących w środowisku wodnym w odniesieniu do nanocząstek metali i tlenków metali w celu oszacowania rzeczywistego lub potencjalnego zagrożenia dla środowiska lub narażenia ludzi. Wiedza w zakresie procesów, jakim ulegają NPMOs w środowisku wodnym, jest niezbędna w celu stworzenia lub dopracowania już funkcjonujących modeli migracji zanieczyszczeń w środowisku.

Słowa kluczowe: wody powierzchniowe, migracja, transformacje, nanocząstki metali

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 06.11.2019; **Zrecenzowany:** 19.12.2019; **Zatwierdzony:** 19.12.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: I. Tomczyk-Wydrych – 0000-0002-1278-2615; A. Rabajczyk – 0000-0003-4476-8428;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 54–68, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.4>;

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

Introduction

Nanotechnology refers to objects with at least one dimension within the range of 1 to 100 nm. Currently it is one of the leading fields of science, combining physics, chemistry, biology, medicine, computer science and engineering. Due to their structure and size, nanoparticles of heavy metals exhibit new important biological, chemical and physical properties, which are impossible to achieve at the level of macro- and microscopic structures. Their large surface area, superparamagnetic properties, excellent sorption capacity, crystal structure diversity and the nature of bonds make nanoparticles promising substances with a wide spectrum of applications in a number of areas.

The increasing number of products based on nanoparticles of metal and metal oxides NPMOs, leads to the emission of an increasing amount of these substances in various forms to the environment. The presence of NPMOs in industrial and municipal sewage affects their further migration to surface waters and soils, which in turn also leads to their introduction into the food chain. Therefore, understanding the properties and behaviour of these substances in aqueous solutions is becoming a priority in the field of safety, environmental protection and human health.

The behaviour of these substances may present a threat to the environment and the public. Determining the features and stability of nanoparticles is very important, as it also allows us to understand their functioning in aqueous solutions and interactions with the basic substances present in the environment.

Sources of emission to the aquatic environment

Nanoparticles are released to the environment as a result of natural and anthropogenic processes (Figure 1). The increasing use of nanosubstances, in both cosmetic and industrial prod-

Wprowadzenie

Nanotechnologia odnosi się do obiektów, których przynajmniej jeden wymiar zawiera się w przedziale 1–100 nm. Obecnie to jedna z wiodących dziedzin nauki, łącząca wiedzę z obszaru fizyki, chemii, biologii, medycyny, informatyki i inżynierii. Nanocząstki metali ciężkich, ze względu na budowę i rozmiary, wykazują nowe istotne właściwości biologiczne, chemiczne oraz fizyczne, niemożliwe do osiągnięcia na poziomie makro- i mikroskopowych struktur. Duża powierzchnia właściwa, właściwości superparamagnetyczne, doskonała zdolność sorpcyjna, różnorodność struktury kryształów i charakter wiązań powodują, że nanocząstki są interesującymi substancjami o szerokim spektrum zastosowań w wielu dziedzinach.

Wzrost produkcji wyrobów z wykorzystaniem nanocząstek metali i tlenków metali (NPMOs) sprawia, że coraz większa liczba tych substancji przedostaje się do środowiska. Obecność NPMOs w ściekach przemysłowych i miejskich powoduje ich dalszą migrację do wód powierzchniowych oraz gleb, a w konsekwencji także wprowadzenie ich do łańcucha pokarmowego. Dlatego też poznanie właściwości i zachowania tych substancji w roztworach wodnych staje się priorytetem w dziedzinie bezpieczeństwa, ochrony środowiska i człowieka.

Przemiany i zachowanie się tych zanieczyszczeń mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska oraz człowieka. Określenie cech i stabilności nanocząstek jest bardzo istotne, gdyż pozwala także zrozumieć ich funkcjonowanie w roztworach wodnych oraz interakcji z podstawowymi substancjami obecnymi w środowisku.

Źródła emisji do środowiska wodnego

Nanocząstki są emitowane do środowiska w wyniku naturalnych i antropogenicznych procesów (ryc. 1). Rosnące wykorzystanie nanosubstancji, zarówno w produktach komercyjnych, jak

ucts, as well as their great diversity, contributes to the increasing concentration and variety of those substances in aquatic ecosystems [1].

i przemysłowych, oraz ich ogromna różnorodność determinuje coraz większe stężenie i zróżnicowanie tych substancji w ekosystemach wodnych [1].

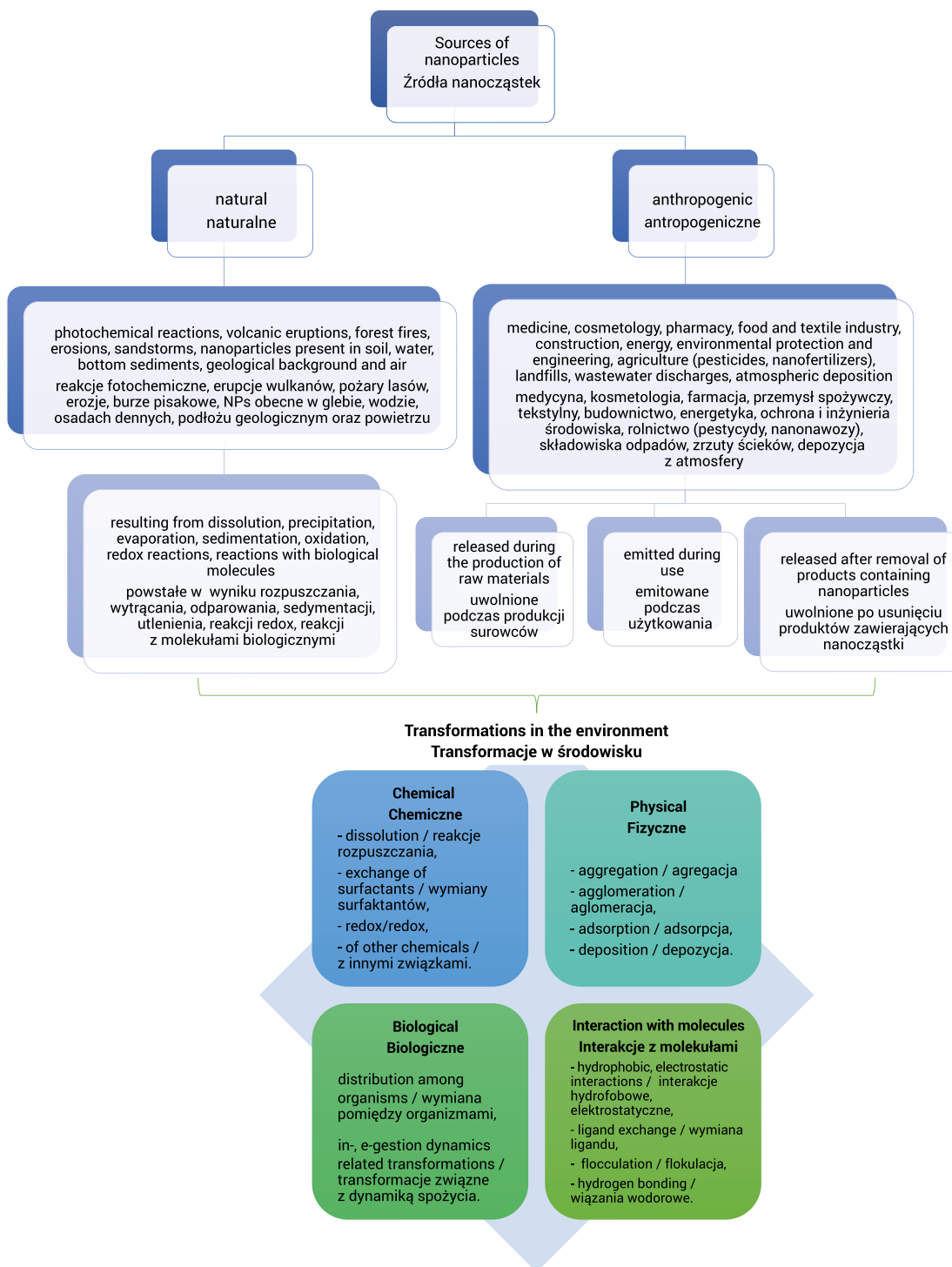


Figure 1. Emission sources and transformation processes of nanoparticles in the environment

Rycina 1. Źródła emisji i procesy transformacji nanocząstek zachodzące w środowisku

Source: Own study based on [2–5].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [2–5].

The surface water environment is continually subject to anthropopressure. Pollutants introduced directly or indirectly to water ecosystems undergo physico-chemical/biological and hydrological processes. The number and type of pollutant loads are determined by the physico-chemical properties of water, hydrogeological conditions and the degree of catchment area development [2], [6–7]. Nanoparticles present in the environment can therefore assume a variety of forms, such as aggregated (homo and heteroaggregation), dissolved, mineralised, oxidised and bound to biological structures by sorption [2].

Nanostructures may reach surface waters in various ways. Introduced into the atmosphere, they may be subject to deposition on the surface of soil or various civil structures and then migrate into waters as a result of, i.a., surface runoff. Nanosubstances released directly to watercourses are capable of accumulating in bottom sediments as a result of sorption and sedimentation processes. Subsequently, participating in changes such as e.g. disaggregation, dissolution, or physical, chemical and biological transformation, they can affect the functioning of organisms inhabiting a given ecosystem. NPMOs participate in chemical reactions, including i.a. organic compound mineralisation (e.g. NOM), as a result of which nanoparticles can be released to soil and water solutions.

Nanoparticles present in surface waters migrate along with the waters. However, it should be pointed out that most reactions and processes, which occur in water, take place at the phase boundary: solution - solid phase. Some pollutants are deposited on the surface of particles and other solid bodies present in water and it is there that further transformation occurs [9].

The transport and transformation of nanoparticles in the aquatic environment are determined by various parameters, which decide, i.a. about solubility and therefore affect the form in which these substances occur (Table 1).

Środowisko wód powierzchniowych poddawane jest nieustającej antropopresji. Zanieczyszczenia wprowadzane w sposób bezpośredni lub pośredni do ekosystemów wodnych podlegają procesom fizyko-chemiczno-biologicznym oraz hydrologicznym. Liczba i rodzaj ładunków zanieczyszczeń uzależnione są od właściwości fizykochemicznych wody, warunków hydrogeologicznych oraz stopnia zagospodarowania zlewni [2], [6–7]. Nanocząstki występujące w środowisku mogą przybierać zatem formy zagregowane (homo-, hetero- agregacja), rozpuszczone, zmineralizowane, utlenione oraz połączone ze strukturami biologicznymi w wyniku sorpcji [2].

Nanostruktury dostają się do wód powierzchniowych różnymi drogami. Wprowadzone do atmosfery mogą ulegać depozycji na powierzchni gleby, różnych obiektów budowlanych, a następnie na skutek m.in. spływu powierzchniowego migrować do wód. Nanosubstancje emitowane bezpośrednio do cieków są w stanie kumulować się w osadach dennych w wyniku procesów sorpcji i sedimentacji. Następnie, uczestnicząc w przemianach takich jak np. dezagregacja, rozpuszczanie, transformacja fizyczna, chemiczna i biologiczna, mogą wpływać na funkcjonalność organizmów bytujących w danych ekosystemach. NPMOs uczestniczą w reakcjach chemicznych, w tym m.in. mineralizacji związków organicznych (np. NOM), na skutek czego może dojść do uwolnienia nanocząstek do roztworów glebowych i wody [8].

Nanowiązki obecne w wodach powierzchniowych migrują wraz z wodami. Należy jednak zaznaczyć, że większość reakcji i procesów, które zachodzą w wodzie, odbywa się na granicy faz: roztwór – faza stała. Niektóre zanieczyszczenia zatrzymane są wręcz na powierzchni cząstek i innych ciał stałych znajdujących się w wodzie i tam dochodzi do dalszych przemian [9].

Transport i przemiany nanocząstek w środowisku wodnym uwarunkowane są różnymi parametrami, które decydują m.in. o rozpuszczalności i tym samym wpływają na formę występowania tych substancji (tab. 1).

Table 1. Mobility of metal nanoparticles in the aquatic environment

Tabela 1. Mobilność nanocząstek metali w środowisku wodnym

Factor Parametr	Processes Procesy
pH	influence on solubility, aggregation, oxidation wpływ na rozpuszczalność, agregację, utlenianie
type of nanoparticle rodzaj nanocząstki	variable mobility zróżnicowana mobilność
hydrophilicity hydrofilowość	hydrophobic substances tend to agglomerate or absorb faster hydrofobowe substancje mają tendencję do szybszej aglomeracji lub absorpcji
coating pokrycie i powłoka	natural or intentional modifications can prevent coagulation, agglomeration and increase mobility naturalne lub celowe modyfikacje mogą zapobiec krzepnięciu, aglomeracji i zwiększyć mobilność
size rozmiar	smaller particles sediment and settle more slowly than larger ones, and migrate more easily inside organisms mniejsze cząstki ulegają sedimentacji, osadzeniu wolniej niż większe, łatwiej migrują wewnątrz organizmów
surface powierzchnia	a large surface determines the high potential rozbudowana powierzchnia determinuje jej wysoki potencjał
the presence of other compounds, e.g. NOM, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ obecność innych związków np. NOM, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	other compounds determine aggregation and agglomeration, dissolution, oxidation and reduction, creation of new solid forms and thus the possibility of sedimentation and migration processes in the aquatic environment determinują agregację i aglomerację, rozpuszczanie, utlenianie i redukcję, tworzenie nowych form stałych i tym samym możliwość procesów sedimentacji i migracji w środowisku wodnym

Source: Own elaboration based on [2], [10–15].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [2], [10–15].

It should be noted that the uncontrolled introduction of metal nanoparticles and metal oxides to the environment is particularly dangerous due to their durability and accumulation in organisms, since, similarly to metals in the macro scale, they are not subject to biodegradation, even if they are supplied periodically and in limited amounts. It is therefore necessary to conduct research at the molecular level to determine the stability, solubility and aggregation of nanoparticles, which may affect their fate, toxicity, bioavailability and durability in the environment. One of the factors playing an important role in the processes taking place in the aquatic environment is the presence of microorganisms, natural matter and a variety of inorganic ions.

Interactions with natural organic matter

Natural waters contain a large number of particles of various sizes, including organic matter. Natural organic matter (NOM) is mainly from plants or residues of microorganisms. In its original or chemically transformed form, organic matter (OM) may migrate from the soil into the hydrosphere. This transport is usually connected with rainfall, which either runs off or soaks through the soil column, transporting the dissolved and suspended NOM particles to streams, lakes and oceans, or into the ground, feeding groundwater. Organic matter which comes from land sources is a significant part of the total amount of organic matter, particularly in small, continental water bodies. OM also forms in situ in water bodies, an excellent example of which is wetlands, both natural and artificial. Intensive plant growth leads to the formation of a thick layer of aerated matter and roots, which remain in the water after dying. It has been estimated that about 10% of global microbial activity in water is used to produce dissolved organic matter [16].

It should be emphasised that in addition to natural sources, anthropogenic sources provide specific organic compounds such as substances used in agriculture, medicinal preparations, products or waste from industrial processes, landfill leachate, wastewater containing phenols, surfactants, polycyclic aromatic hydrocarbons, chlorinated organic compounds and petroleum compounds [17].

Organic matter particles are divided into three classes, or categories:

- I. Fulvic acids (FA) – soluble in water across a wide pH range.
- II. Humic acids (HnA) – humic fraction that is not soluble in water in a strongly acidic environment (pH 2), but soluble in higher pH values.
- III. Humins (Hu) – insoluble in water at all pH's [18].

Humic substances (HS) are complex compounds forming part of the humus and included in the suspension [19–20].

An important feature of humic substances is their potential to produce soluble or insoluble water complexes with metal ions, metal oxides, minerals or hydroxides. HS also exhibit the capability of interacting with the minerals of clays, loams and organic ingredients such as alkanes, alkyl phthalates, pesticides and

Należy zwrócić uwagę, że niekontrolowane wprowadzanie nanocząstek metali i tlenków metali do środowiska jest szczególnie niebezpieczne ze względu na ich trwałość i kumulację w organizmach, ponieważ prawdopodobnie – tak samo jak metale w skali makro – nie ulegają biodegradacji, nawet gdy są dostarczane w znikomych ilościach i jedynie okresowo. Konieczne jest zatem prowadzenie badań na poziomie molekularnym w określaniu stabilności nanocząstek, ich rozpuszczalności oraz agregacji, które mogą wpływać na ich transformację, toksyczność, dostępność biologiczną i trwałość w środowisku. Wśród czynników odgrywających istotną rolę w procesach zachodzących w środowisku wodnym wymienia się obecność mikroorganizmów, naturalnej materii, różnorodnych jonów nieorganicznych.

Interakcje z naturalną materią organiczną

Naturalne wody zawierają dużą liczbę cząstek o różnych rozmiarach, w tym również substancję organiczną. Naturalna materia organiczna (NOM) pochodzi głównie z roślin i/lub pozostałości mikroorganizmów. W swojej pierwotnej lub chemicznie przekształconej postaci materia organiczna (MO) może migrować z gleb do hydrosfery. Transport ten jest zazwyczaj związany z opadami deszczu, które albo spływają, albo przesiąkają przez kolumnę gleby, przenosząc rozpuszczone i zawieszone cząstki NOM do strumieni, jezior i oceanów lub w głąb gruntu, zasilając wody gruntowe. Materia organiczna, która pochodzi ze źródeł lądowych, stanowi ważną część ogólnej ilości materii organicznej, szczególnie w małych, kontynentalnych zbiornikach wody. MO tworzy się również in situ w zbiornikach wodnych, czego doskonałym przykładem są tereny podmokłe, zarówno naturalne, jak i sztuczne. Bujny wzrost roślinności powoduje powstanie tam grubej warstwy napowietrzonych materii oraz korzeni, które po obumarciu pozostają w wodzie. Oszacowano, że w skali światowej ok. 10% aktywności drobnoustrojowej w wodzie wykorzystywane jest do wytworzenia rozpuszczonej materii organicznej [16].

Należy zaznaczyć, że oprócz źródeł naturalnych, również i źródła antropogeniczne dostarczają specyficznych związków organicznych, takich jak substancje stosowane w rolnictwie, preparaty lecznicze, produkty lub odpady z procesów przemysłowych, odcieki ze składowisk odpadów, ścieki zawierające fenole, substancje powierzchniowo czynne, wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, chlorowane związki organiczne oraz związki ropopochodne [17].

Cząstki materii organicznej dzieli się na trzy klasy lub kategorie:

- I. Kwasy fulwowe (KF) – rozpuszczalne w wodzie w szerokim zakresie pH.
- II. Kwasy huminowe (KH) – frakcja humusu, która jest nierozpuszczalna w wodzie w środowisku silnie kwasowym (pH 2), ale rozpuszczalna w wyższych zakresach pH.
- III. Huminy (Hu) – nierozpuszczalne w wodzie w całym zakresie pH [18].

Substancje humusowe (SH), czyli złożone związki chemiczne wchodzące w skład tzw. humusu, są częścią zawiesiny [19–20].

Ważną cechą substancji humusowych jest ich potencjał do tworzenia rozpuszczalnych oraz nierozpuszczalnych wodnych kompleksów z jonami metali, tlenkami metali, minerałami lub wo-

other. The interactions between humic substances and metal ions describe the reactions of ion exchange, surface adsorption, chelation, binding, coagulation and peptisation. The main participants in the metal binding reactions are carboxyl – COOH and hydroxy groups – OH. Carboxyl groups react in lower pH values, while hydroxy groups in neutral and alkalic pH ranges [21]. Research results indicate that the humus' ability to bind metals is influenced by salt concentration. When the salinity is high, e.g. in a marine environment, this process is difficult [22]. However, this kind of phenomenon is not identical for all metal cations. For interactions of HS with some metals, e.g. Fe, Al, Mn, Zn, Cu, various types of complexes were found to exist. Fulvic acids contain carboxyl groups with different acidic properties and different affinities with metal ions. They have greater metal complexation capabilities than humin acids. Irving-Williams developed a series of relative stabilities of complexes of various metals with HS, in which the metals are ordered in the following way: $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Mg^{2+}$. Van Dijk created a similar series for metal – humic acid complexes with pH = 5: $Zn^{2+} > Fe^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Mn^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Ba^{2+}$ [9].

Suspended particulate matter (SPM) plays an important role in the transport of pollutants. The suspension is composed of organic and inorganic substances, i.e. particles with a more or less complicated structure, qualitative and quantitative composition, as well as different physico-chemical properties. However, only the fraction with a diameter < 1 μm remains suspended and favours the transport of substances adsorbed on its surface across long distances [9].

In order to be able to describe the transport of nanoparticles of metal and metal oxides in the environment and, consequently, to determine their impact on organisms, it is necessary to understand the aggregation processes of NPMOs and to develop a quantitative model of aggregation for those nanoparticles. Studies conducted in several different research centres have shown that natural organic matter and the presence of microbes may lead to the transformation of nanocompounds and cause their mobilisation in the environment, which may have harmful effects on organisms [23–27].

A number of studies also confirm the significant impact of the presence and concentration of NOM on the aggregation processes and stability of nanoparticles of metal and metal oxides in aquatic ecosystems [28–34]. NOM may apply a negative charge to the surface of nanoparticles, thereby increasing their surface potential. This leads to the formation of an energy barrier between nanoparticles. As a result, the presence of NOM stabilises or at least reduces nanoparticle aggregation [25], [32], [35–36]. However, some results show that natural organic matter may delay aggregation [36] and other findings even indicate disaggregation as the result of the presence of NOM in the water [37].

Labille and Brant [38] attempted to find the available information on potential changes to the properties and behaviour of the produced nanoparticles in various water solutions. They presented general reactions occurring at the nanoparticle-water interface or between nanoparticles. The conclusion was that water systems were a potential carrier for nanoparticles introduced into the natural environment and their presence in water posed

dotrojenkami. SH wykazują także zdolność do interakcji z minerałami glin, ilów oraz składnikami organicznymi, takimi jak alkany, ftalany alkilowe, pestycydy i inne. Interakcje pomiędzy substancjami humusowymi i jonami metali opisują reakcje wymiany jonowej, adsorpcji powierzchniowej, chelatowania, przyłączenia, koagulacji i peptyzacji. W reakcjach przyłączenia metali biorą udział głównie grupy karboksylowe – COOH oraz hydroksylowe –OH. Grupy karboksylowe reagują w niższych przedziałach odczynu, grupy hydroksylowe w obojętnych i alkalicznych zakresach pH [21]. Wyniki badań wskazują, że na zdolność przyłączenia metali przez humusy ma wpływ stężenie soli. Przy wysokim stopniu zasolenia, np. w środowisku morskim, proces ten jest utrudniony [22]. Jednak zjawisko tego typu nie jest jednakowe dla wszystkich kationów metali. W przypadku interakcji SH z niektórymi metalami, np. Fe, Al, Mn, Zn, Cu, stwierdzono istnienie różnego typu kompleksów. W kwasach fulwowych istnieją grupy karboksylowe o różnych właściwościach kwasowych i różnym powinowactwie do jonów metali. Posiadają one większą zdolność kompleksowania metali od kwasów huminowych. Irving-Williams opracował szereg trwałości kompleksów różnych metali z SH, w którym metale uszeregowane są następująco: $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Zn^{2+} > Cd^{2+} > Fe^{2+} > Mn^{2+} > Mg^{2+}$. Van Dijk stworzył podobny szereg dla kompleksów metal – kwas humusowy przy wartości pH 5: $Zn^{2+} > Fe^{2+} > Ni^{2+} > Co^{2+} > Mn^{2+} > Mg^{2+} > Ca^{2+} > Ba^{2+}$ [9].

Zawiesina odgrywa ważną rolę w transporcie zanieczyszczeń. Składa się z substancji organicznych i nieorganicznych, czyli cząstek o mniej lub bardziej skomplikowanej budowie, składzie jakościowym i ilościowym, a także o odmiennych właściwościach fizyko-chemicznych. Jednakże tylko frakcja o średnicy < 1 μm pozostaje w stanie zawieszonym i sprzyja transportowi substancji zaadsorbowanych na jej powierzchni na dalekie odległości [9].

Charakterystyka transportu nanocząstek metali i tlenków metali w środowisku i – co za tym idzie – określenie ich wpływu na organizmy wymaga zrozumienia procesów agregacji NPMOs oraz opracowania modelu ilościowego agregacji tych nanocząstek. Prowadzone w różnych ośrodkach badania pokazują, że naturalna materia organiczna oraz obecność mikroorganizmów może prowadzić do przemiany nanozwiązków i spowodować ich mobilizację w środowisku, co w konsekwencji może mieć szkodliwy wpływ na organizmy [23–27].

Wyniki wielu badań potwierdzają także znaczący wpływ obecności i stężenia NOM na procesy agregacji i stabilności nanocząstek metali i tlenków metali w ekosystemach wodnych [28–34]. NOM może ujemnie naładować powierzchnię nanocząstek i tym samym zwiększyć ich potencjał powierzchniowy. Prowadzi to do wytworzenia bariery energetycznej między nanocząsteczkami. W konsekwencji obecność NOM stabilizuje lub przynajmniej zmniejsza agregację nanocząstek [25], [32], [35–36]. Niektóre wyniki dowodzą jednak, że naturalna materia organiczna może opóźnić agregację [36], a inne wskazują nawet na dezagregację na skutek obecności NOM w wodzie [37].

Labille i Brant [38] podjęli próbę zebrania dostępnych informacji w zakresie ewentualnych zmian właściwości i zachowania wyprodukowanych nanocząstek w różnych roztworach wodnych. W swojej pracy przedstawili ogólne reakcje występujące na styku nanocząstka – woda lub pomiędzy nanocząstkami. Stwierdzili, że systemy wodne są potencjalnym nośnikiem na-

a risk of dysfunction development in water organisms and humans [38]. On the other hand, Gottschalk et al. found that surface waters acted primarily as a dispersive medium, whereas bottom sediments and soil could accumulate a large amount of nanoparticles [39].

The impact of nanoparticles on the environment has been studied not only in terms of interactions with NOM [19], [25], [32], [35], [40–48] but also in the context of the possibility of aggregation [23], [38], [40–41], [49–50], the impact of pH on nanoparticle transformation [19], [51–55] and the presence and concentration of various inorganic ions [25], [42], [56–57].

Bian et al. [54] focused on determining the stability of ZnO nanoparticles with a diameter of 4 ± 1 nm in water solutions with variable pH values and ionic strength as well as in the presence of humic acids. The study results show that ionic strength, pH and adsorption of humic acids influence the aggregation of ZnO NPs in water solutions. Measurements of nanoparticle solubility show that zinc ions are released to the water phase depending on the solution's pH. In addition, the presence of HA may contribute to an increase in the concentration of the Zn^{2+} form. A comparison of solubility of ZnO NPs with various nanoparticle diameters (15–240 nm) shows that the smallest nanoparticles are more soluble [54]. Literature data also indicate that, depending on pH, ZnO NPs in an aquatic environment not only dissociate Zn^{2+} ions, but also undergo transformation to $Zn(OH)_2$ [58].

Liu et al. [56] noticed that in the presence of $CaCl_2$, the formation of ZnO NP aggregates was more effective than for NaCl and KCl [56]. Li and Chen [42] and Lin et al. [29] reached similar conclusions, having found that the aggregation speed of CeO_2 and TiO_2 nanoparticles significantly rises with the increase in the concentration of $CaCl_2$, KCl and NaCl [29], [42] salts. The presence of humic acids was also significant. Regardless of the concentration, the presence of HA in a KCl solution slowed down the kinetics of aggregation of CeO_2 . For a low concentration of $CaCl_2$, HA slowed down aggregation and accelerated it as the concentration of the salt increased [42].

Liu et al. [57] proved HA have an impact on the process of aggregation of silicon nanoparticles with Ca^{2+} , and thereby their transport in an aquatic environment. The scientists observed that silicon nanoparticles were subject to aggregation in a 0.1 M $CaCl_2$ solution. The deposition rate increased with a 0.1 M increase in Ca^{2+} concentration and then remained at a constant level with a further increase in calcium ion concentration. Increased aggregation of silicon nanoparticles in the presence of HA was attributed to the binding of $(KH-Ca^{2+})$ in the solution with Ca^{2+} . Furthermore, with the same ionic strength, the deposition rate was higher in the presence of HA than in its absence. An analysis using TEM indicated the presence of a cluster of gel formed as a result of complexation between Ca^{2+} and KH. The study results also indicate that carbon and oxygen are present in both silicon aggregates and in the area of bridges, which confirms that HA particles played a significant role within the particles and between silicon aggregates [57].

Zhang et al. [25] determined the impact of NOM and Ca^{2+} on the stability of nanoparticles of such metal oxides as ZnO, NiO, TiO_2 , Fe_2O_3 and SiO_2 . The obtained results led the researchers to the conclusion that a low concentration of electrolytes (0.01 M KCl) in an aquatic environment may cause their aggrega-

tion of nanoparticles introduced into the natural environment, and their presence in water creates a risk of dysfunction in aquatic organisms, and also in humans [38]. Z kolei Gottschalk i in. stwierdzają, że wody powierzchniowe działają głównie jako środowisko dyspersyjne, podczas gdy osady dennie oraz gleba są w stanie zgromadzić duże ilości nanocząstek [39].

Oddziaływanie nanocząstek na środowisko badano nie tylko pod kątem interakcji z NOM [19], [25], [32], [35], [40–48], ale także pod względem m.in. możliwości występowania agregacji [23], [38], [40–41], [49–50], wpływu pH na przemiany nanocząstek [19], [51–55] oraz obecności i stężenia różnych jonów nieorganicznych [25], [42], [56–57].

Bian i in. [54] skupili się na określeniu stabilności nanocząstek ZnO o średnicy 4 ± 1 nm w roztworach wodnych, przy zmiennych wartościach pH i siły jonowej oraz w obecności kwasów humusowych. Wyniki badań pokazują, że siła jonowa, pH i adsorpcja kwasów humusowych mają wpływ na agregację ZnO NPs w roztworach wodnych. Pomiar rozpuszczalności nanocząstek wykazują, że jony cynku są uwalniane do fazy wodnej w zależności od pH roztworu. Co więcej, obecność KH może wpływać na zwiększenie stężenia formy Zn^{2+} . Porównanie rozpuszczalności ZnO NPs o różnych średnicach nanocząstek (15–240 nm) pokazuje, że najmniejsze nanocząstki rozpuszczają się łatwiej [54]. Doniesienia literaturowe wskazują także, że ZnO NPs w środowisku wodnym – w zależności od pH – nie tylko dysocjują na jony Zn^{2+} , ale także ulegają przemianie do $Zn(OH)_2$ [58].

Liu i in. [56] dostrzegli, że w obecności $CaCl_2$ tworzenie agregatów ZnO NPs zachodziło skuteczniej niż przy NaCl i KCl [56]. Do podobnych wniosków doszli Li i Chen [42] oraz Lin i in. [29], którzy stwierdzili, że szybkość agregacji nanocząstek CeO_2 i TiO_2 wyraźnie wzrasta wraz ze wzrostem stężenia soli $CaCl_2$, KCl, NaCl [29], [42]. Ponadto istotną była także obecność kwasów humusowych. W roztworze KCl, niezależnie od stężenia, obecność KH zmniejszała kinetykę agregacji CeO_2 . Z kolei przy niskim stężeniu $CaCl_2$ KH hamowały agregację, natomiast wraz ze wzrostem stężenia soli KH przyspieszały agregację [42].

Liu i in. [57] udowodnili, że istnieje wpływ KH na proces agregacji nanocząstek krzemu przy Ca^{2+} , a tym samym ich transport w środowisku wodnym. Naukowcy zaobserwowali, że nanocząstki krzemu ulegały agregacji w roztworze 0,1 M $CaCl_2$. Natomiast wydajność osadzania wzrastała wraz ze wzrostem stężenia Ca^{2+} o 0,1 M, a następnie utrzymywała się na stałym poziomie przy dalszym wzroście stężenia jonów wapnia. Zwiększenie agregacji nanocząstek krzemu w obecności KH zostało przypisane powstałemu połączeniu $(KH-Ca^{2+})$ w roztworze z Ca^{2+} . Ponadto przy tej samej sile jonowej wydajność osadzania była wyższa w obecności KH niż bez KH. Analiza przy użyciu TEM wykazała obecność klastra żelu powstałego na skutek kompleksowania pomiędzy Ca^{2+} i KH. Wyniki badań pokazują także, że węgiel i tlen występują zarówno w agregatach krzemu, jak i w obszarze mostków, co potwierdza, że cząsteczki KH odgrywały znaczącą rolę w obrębie cząstek i między agregatami krzemowymi [57].

Zhang i in. [25] określili wpływ NOM i Ca^{2+} na stabilność nanocząstek takich tlenków metali jak ZnO, NiO, TiO_2 , Fe_2O_3 i SiO_2 . Na podstawie otrzymanych wyników stwierdzili, że w środowi-

tion. However, after adding $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ of NOM, the negative surface charge of nanoparticles significantly increases, which means that their tendency to aggregate is reduced. On the other hand, a negative charge caused by NOM may be neutralised by calcium cations which, even at concentrations of $0,04\text{--}0,06 \text{ M Ca}^{2+}$, cause the aggregation of nanoparticles covered in NOM [25].

Humic acids (HnA) and fulvic acids (FA) have a number of functional groups which facilitates their complexation with metal ions and interaction with nanocompounds. These interactions may not only change the behaviour of nanosubstances in the environment but also influence the capacity of nanocompounds to remove and transport heavy metals [59]. Zhu et al. 2014 [60] and Thio et al. 2011 [32] found that HA may contribute to the stability of TiO_2 NPs by charge neutralisation, bridging effects, steric hindrance and electrostatic and steric repulsion between particles [32], [60]. Aggregation was initiated by positive HA only when the pH was lower than the point of zero charge for TiO_2 NPs, i.e. pH_{PZC} 6, due to a reduction in the zeta potential of TiO_2 NPs by HA. At pH 4 and HA concentration of $0,094 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, the zeta potential of TiO_2 NPs was close to 0, while TiO_2 NPs reached maximum aggregation. A higher HA concentration caused the negative charge of TiO_2 NP surface and hindered nanoparticle aggregation. For the solution with a pH of 5,8, the presence of HA led to an increase in the negative zeta potential of TiO_2 NPs. In such conditions, the stability of nanoparticles increased due to electrostatic repulsion and steric hindrance. When pH is higher than pH_{PZC} (the pH value at the point of zero charge, PZC), the zeta potential of TiO_2 NPs is high ($\sim 40 \text{ mV}$) and stays virtually the same as the concentration of HA increases [60].

The impact of ionic strength and the presence of humic acids of the Suwannee River on the aggregation and stability of ZnO NPs was also studied by Han et al. [61]. The ZnO nanoparticles were obtained by various methods and were characterised by different grain sizes and surfaces. The level of aggregation in solutions in the absence of HA for both types of ZnO nanoparticles rose with the increase in ionic strength, in accordance with the DLVO theory. In solutions containing HA (1 and $5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) the aggregation of both forms of ZnO NPs differed from the DLVO theory, which was caused by repulsive forces. The study results show that the presence of HA determines the solubility of nanoparticles. However, at pH 9 and 6 the solubility of ZnO NPs with larger grains and smaller surface was greater than in the case of ZnO NPs with smaller grains and larger surface. This was probably caused by the differences in the rate of adsorption of HA between the individual types of ZnO NPs. Lower hydrophilicity and stronger electrostatic attraction between humic acid and ZnO NPs with larger grains determined the positive zeta potential of ZnO nanoparticles [61].

A $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ increase in NOM concentration in the solution significantly increases the negative surface charge of nanoparticles [25]. ZnO NP aggregation may be considerably reduced where zinc oxide nanoparticles primarily interact with organic matter and not between each other. In addition, electrostatic interactions effectively contribute to reducing the amount of retained ZnO NPs in a porous medium [41], [45].

skiu wodnym niskie stężenie elektrolitów ($0,01 \text{ M KCl}$) może doprowadzić do ich agregacji. Jednakże po dodaniu $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ NOM znacznie zwiększa się ujemny ładunek powierzchniowy nanocząstek, a zatem ich skłonność do agregacji jest zredukowana. Z drugiej strony, ujemny ładunek powodowany przez NOM może być neutralizowany przez kationy wapnia i już przy stężeniu od $0,04\text{--}0,06 \text{ M Ca}^{2+}$ wywołują agregację nanocząstek pokrytych NOM [25].

Ze względu na fakt, iż kwasy huminowe (KHu) i kwasy fulwowe (KF) mają wiele grup funkcyjnych, możliwe jest ich kompleksowanie z jonami metali i oddziaływanie z nanozwiązkami. Te interakcje mogą nie tylko zmienić zachowanie nanosubstancji w środowisku, ale także wpłynąć na możliwość usuwania i transport metali ciężkich przez nanozwiązki [59]. Zhu i in. [60] oraz Thio i in. [32] ustalili, że KH może wpływać na stabilność TiO_2 NPs poprzez neutralizację ładunku, efekty mostkowania, przeszkodę steryczną oraz odpychanie elektrostatyczne i steryczne pomiędzy cząsteczkami [32], [60]. Agregacja była inicjowana przez dodanie KH tylko wtedy, gdy pH było niższe niż punkt zerowego ładunku dla TiO_2 NPs, tj. pH_{PZC} 6, ze względu na zmniejszenie potencjału Zeta TiO_2 NPs przez KH. Przy pH 4 i stężeniu KH wynoszącym $0,094 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ potencjał zeta TiO_2 NPs był bliski 0, wówczas TiO_2 NPs osiągnęły maksimum agregacji. Wyższe stężenie KH spowodowało ujemne naładowanie powierzchni TiO_2 NPs i utrudniło agregację nanocząstek. W przypadku roztworu o pH 5,8 obecność KH spowodowała zwiększenie ujemnego potencjału Zeta TiO_2 NPs. W takich warunkach nastąpiło zwiększenie stabilności nanocząstek poprzez odpychanie elektrostatyczne i przeszkodę steryczną. Gdy pH jest większe niż pH_{PZC} (wartość pH zbliżonej do punktu zerowego ładunku, PZC), potencjał zeta TiO_2 NPs jest wysoki ($\sim 40 \text{ mV}$) i prawie nie zmienia się wraz ze wzrostem stężenia KH [60].

Wpływ siły jonowej i obecności kwasów humusowych Suwannee River na agregację i stabilność ZnO NPs był badany także przez Han i innych [61], przy czym nanocząstki ZnO otrzymane różnymi metodami charakteryzowały się różną wielkością ziaren i różną powierzchnią. Stopień agregacji w roztworach bez obecności KH dla obu typów nanocząstek ZnO wzrastał wraz ze wzrostem siły jonowej, zgodnie z klasyczną teorią DLVO. Natomiast w roztworach zawierających KH (1 i $5 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$) agregacja obu form ZnO NPs różniła się od teorii DLVO, co było spowodowane siłami odpychającymi. Wyniki badań pokazują, że obecność KH determinuje rozpuszczalność nanocząstek. Jednakże przy pH 9 i 6 rozpuszczalność ZnO NPs – charakteryzujących się większymi ziarnami i mniejszą powierzchnią – odbywała się szybciej niż w przypadku ZnO NPs o mniejszych ziarnach, ale większej powierzchni. Najprawdopodobniej było to spowodowane różnicą w stopniu adsorpcji KH na poszczególnych typach ZnO NPs. Mniejsza hydrofilowość i silniejsze przyciąganie elektrostatyczne pomiędzy kwasem humusowym i ZnO NPs o większych ziarnach determinował dodatni potencjał zeta tych nanocząstek ZnO [61].

Wzrost stężenia NOM o $1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ w roztworze znacznie zwiększa ujemny ładunek powierzchniowy nanocząstek [25]. Agregacja ZnO NPs może być znacznie zmniejszona, gdyż nanocząstki tlenku cynku oddziałują przede wszystkim z materią organiczną, a nie między sobą. Co więcej – oddziaływania elek-

Chen et al. [46] reported increased mobility of TiO₂ NPs in columns with sand in an acidic environment (pH 5.7) even at low HA concentrations of 1 mg · dm⁻³. As for an alkaline pH (pH 9), the mobility of TiO₂ NPs is limited regardless of HA concentration. According to Chen et al., natural organic matter and pH of the solution are probably the key factors affecting the stability and mobility of TiO₂ NPs in a natural aquatic environment [46]. Luo et al., 2018 [62] also proved that humic acid has a higher hydrophobicity than fulvic acid and is more readily absorbed from water to the surface of the TiO₂ [62] nanoparticles.

Many scientific centres are carrying out studies of the relationship between pH and HA adsorption on nanoparticles and their impact on the surface charge and aggregation of nanoparticles. Scientists have clearly determined that an increase in nanoparticle concentrations results in higher aggregation, particularly at pH values at the point of zero charge [99], [106]. Large aggregates form close to that value, while stable structures are present at pHs higher than pH_{PZC}. With the increase of humic acid concentration, the isoelectric point appears at lower pH values. In an acidic environment, trace quantities of humic acids are adsorbed on the surface of Fe₃O₄ magnetite nanoparticles as oppositely charged structures. This makes systems become more unstable due to heterocoagulation. Humic-acid-coated magnetite particles create a stable colloidal suspension [51]. The results of studies by Baaloush indicate that the aggregation of iron(II) oxide is increased for pH values at the point of zero charge (PZC), which is 7.1 for iron nanoparticles. Humic acids at the concentration of 100 mg · dm⁻³ make the maximum level of nanoparticle aggregation move towards lower pH values, while lower HA concentration, at about 10 mg · dm⁻³, has negligible or no influence on aggregation. Disaggregation was caused by an increase in the surface charge triggered by the sorption of HA particles on the nanoparticle surface. The degree of disaggregation increased with the concentration of humic acids and decreased over time. The formation of small (170 nm) HA coated aggregates of iron oxide nanoparticles confirms the role of NOM in the process of disaggregation and indicates that nanoparticles may imitate the behaviour of natural colloids [37].

It should be emphasised that under natural conditions a large part of iron, including Fe NPs, is bound to organic matter, including humic and fulvic acids, which have the greatest capacity to form complexes with iron. All Fe²⁺ compounds are generally unstable and mobile. Stable forms include Fe³⁺ compounds such as oxides, hydroxides, phosphates and carbonates, as well as sulphates [63].

Ghosh et al. [19] found that the behaviour of Al₂O₃ nanoparticles is considerably influenced by the pH of the solution and natural organic matter. HA may stabilise the colloidal system of Al₂O₃ NPs, while under acidic conditions HA reduce colloidal stability. The surface charge of NPs is reduced with the increase in pH and addition of HA. Nanoparticles have a tendency to aggregate when pH is close to pH_{PZC}. In such conditions, the forces of Van der Waals electrostatic attraction dominate over electrostatic repulsion. Ghosh also found that the hydrophobic nature of HA particles has a strong impact on the aggregation of colloidal NPs [19].

trostatyczne skutecznie przyczyniają się do zmniejszenia ilości zatrzymanych ZnO NPs w ośrodku porowatym [41], [45].

Chen i in. [46] donoszą o zwiększonej mobilności TiO₂ NPs w kolumnach z piaskiem w środowisku kwaśnym (pH 5,7) nawet przy niskim stężeniu KH wynoszącym 1 mg · dm⁻³. Natomiast przy zasadowym pH (pH 9), niezależnie od stężenia KH, mobilność TiO₂ NPs jest ograniczona. Według Chen i innych naturalna materia organiczna i pH roztworu są prawdopodobnie kluczowymi czynnikami wpływającymi na stabilność i mobilność TiO₂ NPs w naturalnym środowisku wodnym [46]. Luo i in. [62] dowiedli, że kwas humusowy wykazuje silniejszą hydrofobowość niż kwas fulwowy i łatwiej absorbuje się z wody na powierzchnię nanocząstek TiO₂ [62].

W wielu ośrodkach naukowych prowadzone są badania dotyczące zależności między pH a adsorpcją KH na nanocząstkach oraz ich wpływu na ładunek powierzchniowy i agregację nanocząstek. Naukowcy jednoznacznie stwierdzają, że wzrost stężenia nanocząstek zwiększa ich agregację, zwłaszcza przy wartości pH zbliżonej do punktu zerowego ładunku [99], [106]. Blisko tej wartości pH tworzą się duże agregaty, natomiast stabilne struktury istnieją przy pH wyższym od pH_{PZC}. W przypadku zwiększenia stężenia kwasów humusowych punkt izoelektryczny przypada przy mniejszych wartościach pH. W środowisku kwaśnym śladowe ilości kwasów humusowych są adsorbowane na powierzchni nanocząstek magnetytu Fe₃O₄ jako przeciwnie naładowane struktury. Wówczas układy stają się bardziej niestabilne ze względu na heterokoagulację. Natomiast cząstki magnetytu powleczone kwasami humusowymi tworzą stabilną zawiesinę koloidalną [51]. Wyniki badań Baalousha wskazują, że agregacja tlenku żelaza(II) zostaje zwiększona przy wartości pH zbliżonej do punktu zerowego ładunku (PZC), który dla nanocząstek żelaza wynosi 7,1. Kwasy humusowe przy stężeniu 100 mg · dm⁻³ powodują, że maksymalny stopień agregacji nanocząstek przesuwają się w kierunku niższych wartości pH, podczas gdy mniejsze stężenie KH – rzędu 10 mg · dm⁻³ – wykazują znikomy lub zerowy wpływ na agregację. Dezagregacja spowodowana była przez zwiększenie ładunku powierzchniowego wywołanego przez sorpcję cząsteczek KH na powierzchni nanocząstek. Stopień dezagregacji wzrastał wraz ze wzrostem stężenia kwasów humusowych i zmniejszał się wraz z upływem czasu. Tworzenie małych agregatów (170 nm) nanocząstek tlenku żelaza z powłoką KH potwierdza rolę NOM w procesie dezagregacji i wskazuje, że nanocząstki mogą naśladować zachowanie naturalnych koloidów [37].

Należy zaznaczyć, że w warunkach naturalnych duża część żelaza, w tym Fe NPs, jest związana z materią organiczną, także z kwasami humusowymi i fulwowymi, których zdolności do tworzenia kompleksów z żelazem są najwyższe. Wszystkie związki Fe²⁺ są na ogół niestabilne i mobilne. Stabilne formy obejmują związki Fe³⁺, takie jak tlenki, wodorotlenki, fosforany i węglany, jak również siarczany [63].

Ghosh i in. [19] stwierdzili, że na zachowanie nanocząstek Al₂O₃ znacząco wpływa pH roztworu oraz naturalna materia organiczna. KH mogą stabilizować układ koloidalny Al₂O₃ NPs, natomiast w warunkach kwasowych KH zmniejszają trwałość koloidalną. Ładunek powierzchniowy NPs zmniejsza się wraz ze wzrostem pH i dodaniem KH. Nanocząstki mają tendencję do agregacji, kiedy pH jest bliskie pH_{PZC}. Wówczas siły przyciągania elektrostatycznego Van der Waalsa dominują nad odpychaniem elektrostatycznym.

The results of studies conducted by Quik et al. [64] prove that particle diameter, pH, electrical conductivity and NOM are significantly correlated with CeO₂ NPs in the suspension. The scientists determined the concentration and size of CeO₂ NPs in an algal culture medium and deionised water in the presence of various concentrations of organic matter sourced from two different rivers, the Suwannee and the Bihain. Suspension in the water sample collected from the Suwannee River contained 6% HA and 60% FA, while the material collected from the Bihain River was composed of 19% HA and 45% FA. In the presence of NOM, after 12 h of observation, as much as up to 88% of the initially added CeO₂ NPs remained suspended in deionised water and 41% in the culture medium [64].

SEM studies carried out by Manoharan et al. [47] demonstrated that under the influence of humic acid interaction with Ag NPs, these nanoparticles change their physical and chemical properties. The scientists suggested a KH-Ag NP interaction mechanism, which demonstrates that nanoparticles are subject to transformation in the environment. This means that humic compounds may function both as stabilising substances and as reducing substances, determining the chemical properties of new molecular entities. Moreover, the capacity of humic substances to bond metal ions is relatively higher in comparison to their capacity to form complexes with metals [47].

Yang et al. [35] focused on determining the HA interaction with the nanoparticles of four metal oxides, i.e. TiO₂, SiO₂, Al₂O₃ and ZnO. It was observed that the process of HA adsorption took place on TiO₂, Al₂O₃ and ZnO nanoparticles, while it was not observed on SiO₂ NPs. The adsorption maxima of humic acids on oxide nanoparticles were limited by the surface area of those nanoparticles. The phenyl group –OH and –COOH characteristic of humic acids were responsible for the exchange of the ligand with, TiO₂ NPs and ZnO NPs, respectively. In the case of n-Al₂O₃ a strong interaction was observed between the –COOH, phenyl –OH and alcohol –OH groups and the surface of the aluminum oxide nanoparticle. The adsorption of humic acids leads to a reduction in metal oxide nanoparticle micropore area and zeta potential, which is why metal oxide nanoparticles bound with humic acids may disperse and suspend more easily and are more stable in the solution than free nanoparticles [35]. Such processes affect the change of properties of nanoparticles and their migration capabilities in an aquatic environment.

Lopes et al. [65] found that the process of n-ZnO dissolution is shaped not only by the size and structure of particles, and the method of synthesis of nanoparticles, which also determine their physicochemical properties, but also by the medium, in which this process takes place. They also observed that ZnO in both macro and nano scales were an identical source of zinc ions in the environment. The scientists also proved that in the course of several months in waters simulating natural conditions ZnO nanoparticles change their size and shape, and that the toxicity of ZnO NPs should be explained by their dissolution and the toxicity of the Zn²⁺ ions being formed [65].

Due to the ubiquity of humic substances, metal nanoparticles released into the environment might bind with OM and become coated in HA/FA. This process might lead to change in the

Ghosh stwierdził także, że hydrofobowy charakter cząsteczki KH silnie wpływa na agregację koloidalnych NPs [19].

Wyniki badań przeprowadzonych przez Quik i innych [64] dowodzą, że średnica cząstek, pH przewodność elektryczna i NOM wykazują znaczną korelację z CeO₂ NPs w zawiesinie. Naukowcy określili stężenie i wielkość CeO₂ NPs w pożywce hodowlanej glonów i dejonizowanej wodzie, w obecności różnych stężeń materii organicznej pochodzącej z dwóch różnych rzek Suwannee i Bihain. Zawiesina w próbce wody pobranej z rzeki Suwannee zawierała 6% KH i 60% KF, podczas gdy materiał pobrany z rzeki Bihain składał się z 19% KH i 45% KF. W obecności NOM, po 12 h obserwacji aż do 88% początkowo dodanych CeO₂ NPs pozostawało zawieszonych w wodzie dejonizowanej oraz 41% w pożywce hodowlanej [64].

Badania SEM wykonane przez Manoharan i in. [47] wykazały, że pod wpływem interakcji kwasów humusowych z Ag NPs nanocząstki te zmieniają swoje właściwości fizyczne i chemiczne. Naukowcy zaproponowali mechanizm oddziaływania KH-Ag NPs, który przedstawia, że nanocząstki ulegają transformacji w środowisku. To znaczy, że związki humusowe mogą działać zarówno jako substancje stabilizujące, jak i redukujące, determinujące właściwości chemiczne nowych indywidualów. Co więcej zdolność substancji humusowych do wiązania jonu metalu jest stosunkowo wyższa w porównaniu ze zdolnością do tworzenia kompleksów z metalami [47].

Yang i in. [35] skupili się na określeniu interakcji KH z nanocząstkami czterech tlenków metali, to jest TiO₂, SiO₂, Al₂O₃ i ZnO. Zaobserwowano, że proces adsorpcji KH odbywa się na nanocząstkach TiO₂, Al₂O₃ i ZnO, natomiast nie zauważono go na SiO₂ NPs. Maxima adsorpcji kwasów humusowych na nanocząstkach tlenków były ograniczone przez pole powierzchni tych nanocząstek. Charakterystyczne dla kwasów humusowych grupy fenolowa –OH i –COOH były odpowiedzialne za wymianę ligandu z – odpowiednio – TiO₂ NPs i ZnO NPs. Natomiast w przypadku n-Al₂O₃ zaobserwowano silną interakcję grupy –COOH, fenolowej –OH i alkoholowej –OH z powierzchnią nanocząstki tlenku glinu. Poprzez adsorpcję kwasów humusowych zmniejsza się powierzchnia mikroporów nanocząstek tlenków metali oraz potencjał zeta nanocząstek tlenków metali, dlatego też nanocząstki tlenków metali powiązane z kwasami humusowymi mogą łatwiej ulec rozproszeniu, zawieszeniu i są bardziej stabilne w roztworze od nanocząstek wolnych [35]. Takie procesy wpływają na zmianę właściwości nanocząstek oraz ich możliwość migracji w środowisku wodnym.

Lopes i in. [65] stwierdzili, że proces rozpuszczania n-ZnO jest uwarunkowany nie tylko wielkością cząstek, strukturą, metodą syntezy nanocząstek, które determinują także ich właściwości fizykochemiczne, ale także medium, w którym proces ten zachodzi. Zaobserwowali ponadto, że zarówno ZnO w skali makro, jak i nano, są takim samym źródłem jonów cynku dla środowiska. Naukowcy dowiedli również, że w czasie kilku miesięcy w wodach symulujących warunki naturalne nanocząstki ZnO zmieniają swoją wielkość i kształt oraz że toksyczność ZnO NPs należy tłumaczyć rozpuszczeniem ZnO NPs i toksycznością powstających jonów Zn²⁺ [65].

Ze względu na wszechobecność substancji humusowych nanocząstki metali uwolnione do środowiska mogą łączyć się z MO i zyskać powłokę KH/KF. W wyniku tego procesu przemiany

behaviour, transport and toxicity of nanosubstances in the aquatic environment. Understanding aggregation is of crucial importance as lower aggregation results in a lower sedimentation rate and a higher mobility of compounds. The stability of nanocompounds is another highly significant factor in determining their bioavailability and toxicity. It should be emphasised that studies have demonstrated that HA/FA had a variable effect on the toxicity of NOMP to organisms. For example, HA may reduce the antibacterial activity of Ag and CeO₂ nanoparticles [24], and FA may reduce the antibacterial activity of CuO [66] nanoparticles. In contrast, the presence of HA may increase the toxicity of TiO₂ nanoparticles in the process of zebrafish growth [67]. For this reason, determining the behaviour of nanoparticles requires a thorough in situ characterisation under environmentally-relevant conditions.

Summary and conclusions

Metal and metal oxide nanoparticles are becoming increasingly popular in various areas of life, which makes them a rising group of compounds released to the environment, including to surface waters. Due to the significance of water bodies for the economy and pollutant migration, the presence of nanosubstances is a very important issue. Given the toxicity of NOMP towards various forms of living organisms, it is essential to obtain knowledge about their functioning in aquatic ecosystems and their interactions with substances present in such solutions.

The analysis of various literature sources indicates that the size, structure and layout of nanoparticles and the size and properties of the surface are subject to constant change in the environment due to interactions with other components and equilibria shaped by diverse bio- and geochemical factors. The size distribution of particles may therefore be subject to change in response to the occurring reactions, such as sorption, aggregation, precipitation, dissolution and the processes determined by the presence of microbes. There are a large number of cases where grain sizes change from the nano to the micro and macro scales, which also causes changes in the sizes of the analysed compounds.

However, it should be emphasised that most conducted studies still involve model laboratory conditions with high nanoparticle concentration and a distilled water matrix, which does not accurately reflect the natural conditions present in surface waters [68]. Therefore, it is necessary to start developing exposure models, which would require collecting data on the features, possibilities of release and behaviour of NPMOs in surface waters. It is necessary to study the mechanisms and kinetics of processes occurring in the aquatic environment with regard to metal and metal oxide nanoparticles to estimate the actual or potential threats to the environment and people.

transport i toksyczność nanosubstancji w środowisku wodnym mogą ulec zmianie. Zrozumienie agregacji ma kluczowe znaczenie, ponieważ mniejsza agregacja daje niższe tempo sedymentacji i większą mobilność związków. Stabilność nanozwiązków jest również istotna przy określaniu ich biodostępności i toksyczności. Należy podkreślić, że badania pokazały, że KH/KF miały różny wpływ na toksyczność NPMOs w stosunku do organizmów. Na przykład KH może zmniejszyć aktywność przeciwbakteryjną nanocząstek Ag i CeO₂ [24], a KF może zmniejszyć aktywność przeciwbakteryjną nanocząstek CuO [66]. Przeciwnie, obecność KH może zwiększyć toksyczność nanocząstek TiO₂ w procesie rozwoju Danio pręgowanego [67]. Dlatego też określenie zachowania nanocząstek wymaga wnikliwej charakterystyki in situ w warunkach istotnych dla środowiska.

Podsumowanie i wnioski

Nanocząstki metali i tlenków metali znajdują coraz powszechniejsze zastosowanie w różnych dziedzinach życia człowieka, co powoduje, że stanowią istotną grupę związków emitowanych do środowiska, w tym do wód powierzchniowych. Ze względu na rolę wód w gospodarce człowieka oraz w migracji zanieczyszczeń obecność nanosubstancji jest bardzo istotnym zagadnieniem. Problem toksyczności NPMOs w odniesieniu do różnych form organizmów żywych sprawia, że niezbędna staje się wiedza w zakresie ich funkcjonowania w ekosystemach wodnych oraz interakcji z obecnymi w tych roztworach substancjami.

Analiza poszczególnych doniesień literaturowych wskazuje, że wielkość nanocząstek, ich budowa, układ oraz wielkość i właściwości powierzchni podlegają ciągłym zmianom w środowisku w wyniku interakcji z innymi składnikami i równowag kształtowanych przez różnorodne czynniki bio- i geochemiczne. Rozkład wielkości cząstek może zatem ulec zmianie w odpowiedzi na zachodzące reakcje, takie jak sorpcja, agregacja, strącanie, rozpuszczanie oraz procesy uwarunkowane obecnością mikroorganizmów. W wielu sytuacjach mamy do czynienia ze zmianą wielkości ziaren ze skali nano do skali mikro i makro, co powoduje także zmianę właściwości analizowanych związków.

Należy jednak zaznaczyć, że większość prowadzonych badań dotyczy wciąż warunków laboratoryjnych, modelowych przy znacznym stężeniu nanocząstek, w których jako matryca stosowana jest woda destylowana, co nie odpowiada warunkom naturalnym, panującym w wodach powierzchniowych [68]. Niezbędne jest zatem podjęcie prac w zakresie opracowania modeli ekspozycji. To z kolei wymaga gromadzenia danych odnoszących się do cech i możliwości uwalniania NPMOs w wodach powierzchniowych. W celu oszacowania rzeczywistego lub potencjalnego zagrożenia dla środowiska i ludzi konieczne jest poznanie mechanizmów oraz kinetyki procesów zachodzących w środowisku wodnym w odniesieniu do nanocząstek metali i tlenków metali.

List of abbreviations

NPs	– nanoparticles
NPMOs	– nanoparticles of metal and metal oxides
NOM	– natural organic matter
OM	– organic matter
HA	– humic acids
FA	– fulvic acids
HnA	– humin acids
pH _{PZC}	– pH at the point of zero charge
PZC	– point of zero charge
HS	– humic substances
SPM	– Suspended Particulate Matter

Wykaz skrótów

NPs	– nanocząstki
NPMOs	– nanocząstki metali i tlenków metali
NOM	– naturalna materia organiczna
MO	– materia organiczna
KH	– kwasy humusowe
KF	– kwasy fulwowe
KHu	– kwasy huminowe
pH _{PZC}	– wartość pH zbliżonej do punktu zerowego ładunku
PZC	– punktu zerowego ładunku
SH	– substancje humusowe
SPM	– zawiesina

Literature / Literatura

- [1] Tomczyk-Wydrych I., Rabajczyk A., *Nanocząstki metali w wodach powierzchniowych – zagrożenie dla organizmów wodnych*, Safety & Fire Technology 2019, 54.
- [2] Amde M., Liu J., Tan Z.-Q., Bekana D., *Transformation and bioavailability of metal oxide nanoparticles in aquatic and terrestrial environments. A review*, "Environmental Pollution" 2017, 230, 250–267, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.064>.
- [3] Bundschuh M., Filser J., Lüderwald S., McKee M. S., Metreveli G., Schaumann G.E., Schulz R., Wagner S., *Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to?*, "Environmental Sciences Europe" 2018, 30, 6, <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0132-6>.
- [4] Buzea C, Pachec I. I., Robbie K., *Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity*, "Biointerphases" 2007, 2, 4, 17–71, <https://doi.org/10.1116/1.2815690>.
- [5] Christian P, Von der Kammer F, Baalousha M., Hofmann T., *Nanoparticles: structure, properties, preparation and behavior in environmental media*, "Ecotoxicology" 2008, 17, 326–343, <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0213-1>.
- [6] Gulliver J. S., *Air-Water Mass Transfer Coefficients*, w: *Handbook of Chemical Mass Transport in the Environment*, Thibodeaux L. J., Mackay D. (red.), Taylor and Francis Group, LLC, 2011.
- [7] Thibodeaux L. J., Justin E., Birdwell J. E., Reible D. D., *Difusive Chemical Transport across Water and Sediment Boundary Layers*, w: *Handbook of Chemical Mass Transport in the Environment*, Thibodeaux L. J., Mackay D. (red.), Taylor and Francis Group, LLC, 2011.
- [8] Markus A. A., Parsons J. R., Roex E. W. M., de Voogt P, Laane R. W. P M., *Modeling aggregation and sedimentation of nanoparticles in the aquatic environment*, "Journal & Books" 2015, 506–507, 323–329, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.11.056>.
- [9] Rabajczyk A., Sykała E., *The role of suspended matters as solid supporters of heavy metals in water environment*, "Humic Substances in Ecosystems" 2009, 8, 134–141.
- [10] Handy R. D., Owen R., Valsami-Jones E., *The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: current status, knowledge gaps, challenges, and future needs*, "Ecotoxicology" 2008, 17, 5, 315–325, <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0206-0>.
- [11] Muller N. C., Nowack B., *Exposure Modeling of Engineered Nanoparticles in the Environment*, "Environmental Science & Technology" 2008, 42, 4447–4453, <https://doi.org/10.1016/j.impact.2017.06.005>.
- [12] Najafpour M. M., Isaloo M. A., Eaton-Rye J. J., Tomo T., Nishihara H., Satoh K., Carpentier R., Shen J., Allakhverdiev S. I., *Water exchange in manganese-based water-oxidizing catalysts in photosynthetic systems: From the water oxidizing complex in photosystem II to nano-sized manganese oxides*, "Biochimica et Biophysica Acta" 2014, 16, 2–14, <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2014.03.008>.
- [13] Klaine S. J., Alvarez P. J. J., Batley G. E., Fernandes T. F, Handy R. D., Lyon D. Y., Mahendra S., McLaughlin M. J., Lead J. R., *Nanomaterials in the environment: Behavior, fate, bioavailability, and effects*, "Environmental Toxicology & Chemistry" 2008, 27, 9, 1825-1851.
- [14] Navarro E., Baun A., Behra R., Hartmann N. B., Filser J., Miao A. J., Quigg A., Santschi P. H., Sigg L., *Environmental behavior and ecotoxicity of engineered nanoparticles to algae, plants, and fungi*, "Ecotoxicology" 2008, 17, 5, 372–386, <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0214-0>.
- [15] Jahan S, Yusoff I. B., Alias Y. B., Bakar A. F. B. A., *Reviews of the toxicity behavior of five potential engineered nanomaterials (ENMs) into the aquatic ecosystem*, "Toxicology Reports" 2017, 4,, 211–220, <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.04.001>.
- [16] VanLoon G. W., Duffy S. J., *Chemia środowiska*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [17] Kowal A. L., Świdorska-Bróż M., *Oczyszczanie wody*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2007.
- [18] Darko B., Jiang J.-Q., Kim H., Machala L., Zboril R., Sharma V. K., *Advances Made in Understanding the Interaction of Ferrate(VI) with Natural Organic Matter in Water*, "Water Reclamation and Sustainability" 2014, 183–197, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-411645-0.00008-0>.
- [19] Ghosh S., Mashayekhi H., Pan B., Bhowmik P., Xing B., *Colloidal Behavior of Aluminum Oxide Nanoparticles As Affected by pH and Natural Organic Matter*, "Langmuir" 2008, 24, 12385–12391, <https://doi.org/10.1021/la802015f>.

- [20] Kim J. K., Alajmy J., Borges A. C., Joo J. Ch., Ahn H., Campos L. C., *Degradation of Humic Acid by Photocatalytic Reaction Using Nano-sized ZnO/Laponite Composite (NZLC)*, "Water Air & Soil Pollution" 2013, 224, 1749, <https://doi.org/10.1007/s11270-013-1749-0>.
- [21] Linnik P. N., Ivanechko Ya. S., Linnik R. P., Zhezherya V. A., *Humic Substances in Surface Waters of the Ukraine*, "Russian Journal of General Chemistry" 2013, 83, 13, 2715–2730, <https://doi.org/10.1134/S1070363213130185>.
- [22] Rabajczyk A., Namieśnik J., *Speciation of iron in the aquatic environment*, "Water Environment Research" 2014, 86, 8, 741–758, <https://doi.org/10.2175/106143014X13975035525906>.
- [23] Loosli F., Le Coustumer P., Stoll S., *Effect of natural organic matter on the disaggregation of manufactured TiO₂ nanoparticles*, "Environmental Science: Nano" 2014, 1, 154–160, <https://doi.org/10.1039/c3en00061c>.
- [24] Fabrega J., Fawcett S. R., Renshaw J. C., Lead J. R., *Silver nanoparticle impact on bacterial growth: effect of pH, concentration, and organic matter*, "Environmental Science Technology" 2009, 43, 19, 7285–90, <https://doi.org/10.1021/es803259g>.
- [25] Zhang Y., Chen Y., Westerhoff P. Crittenden J., *Impact of natural organic matter and divalent cations on the stability of aqueous nanoparticles*, "Water Research" 2009, 43, 17, 4249–4257, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2009.06.005>.
- [26] Zhu X., Wang J., Zhang X., Chang Y., Chen Y., *The impact of ZnO nanoparticle aggregates on the embryonic development of zebrafish (Danio rerio)*, "Nanotechnology" 2009, 20, 19, <https://doi.org/10.1088/0957-4484/20/19/195103>.
- [27] Yu S., Liu J., Yin Y., Shen M., *Interactions between engineered nanoparticles and dissolved organic matter: A review on mechanisms and environmental effects*, "Journal of Environmental Sciences" 2018, 63, 198–217, <https://doi.org/10.1016/j.jes.2017.06.021>.
- [28] Lin D., Cai P., Peacock C. L., Wu Y., Gao C., Peng W., Huang Q., Liang W., *Towards a better understanding of the aggregation mechanisms of iron (hydr)oxide nanoparticles interacting with extracellular polymeric substances: Role of pH and electrolyte solution*, "Science of the Total Environment" 2018, 15, 645, 372–379, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.07.136>.
- [29] Lin D., Story S. D., Walker S. L., Huang Q., Liang W., Cai P., *Role of pH and ionic strength in the aggregation of TiO₂ nanoparticles in the presence of extracellular polymeric substances from Bacillus subtilis*, "Environmental Pollution", 2017, 228, 35–42, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.05.025>.
- [30] Erhayem M., Sohn M., *Effect of humic acid source on humic acid adsorption onto titanium dioxide nanoparticles*, "Science of the Total Environment" 2014, 470–471, 92–98, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.063>.
- [31] Chen G., Liu X., Su Ch., *Distinct Effects of Humic Acid on Transport and Retention of TiO₂ Rutile Nanoparticles in Saturated Sand Columns*, "Environmental Science & Technology" 2012, 46, 7142–7150, <https://doi.org/10.1021/es204010g>.
- [32] Thio B. J. R., Zhou D., Keller A. A., *Influence of natural organic matter on the aggregation and deposition of titanium dioxide nanoparticles*, "Journal of Hazardous Materials" 2011, 189, 556–563, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.02.072>.
- [33] Zhu M., Wang H., Keller A. A., Wang T., Li F., *The effect of humic acid on the aggregation of titanium dioxide nanoparticles under different pH and ionic strengths*, "Science of the Total Environment" 2014, 15, 487, 375–380, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.036>.
- [34] Luo M., Huang Y., Zhu M., Tang Y., Ren T., Ren J., Wang H., Li F., *Properties of different natural organic matter influence the adsorption and aggregation behavior of TiO₂ nanoparticles*, "Journal of Saudi Chemical Society" 2018, 22, 146–154, <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2016.01.007>.
- [35] Yang K., Lin D. H., Xing B. S., *Interactions of humic acid with nanosized inorganic oxides*, "Langmuir" 2009, 25, 3571–3576, <https://doi.org/10.1021/la803701b>.
- [36] Cumberland S. A., Lead J. R., *Particle size distributions of silver nanoparticles at environmentally relevant conditions*, "Chromatography A" 2009, 1216, 90–99.
- [37] Baalousha M., *Aggregation and disaggregation of iron oxide nanoparticles: influence of particle concentration, pH and natural organic matter*, "Science of the Total Environment" 2009, 407, 2093–2101, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.11.022>.
- [38] Labille J., Brant J., *Stability of nanoparticles in water*, "Nanomedicine" 2010, 5, 6, 985–998, <https://doi.org/10.2217/nnm.10.62>.
- [39] Gottschalk F., Nowack B., *The release of engineered nanomaterials to the environment*, "Journal of Environmental Monitoring" 2011, 13, 5, 1145–1155, <https://doi.org/10.1039/c0em00547a>.
- [40] Domingos R. F., Tufenkji N., Wilkinson K. J., *Aggregation of Titanium Dioxide Nanoparticles: Role of a Fulvic Acid*, "Environmental Science & Technology" 2009, 43, 5, 1282–1286, <https://doi.org/10.1021/es8023594>.
- [41] Keller A. A., Wang H., Zhou D., Lenihan H. S., Cherr G., Cardinale B. J., Miller R., Ji Z., *Stability and aggregation of metal oxide nanoparticles in natural aqueous matrices*, "Environmental Science & Technology" 44, 6, 2010, 1962–1967, <https://doi.org/10.1021/es902987d>.
- [42] Li K., Chen Y., *Effect of natural organic matter on the aggregation kinetics of CeO₂ nanoparticles in KCl and CaCl₂ solutions: Measurements and modeling*, "Journal of Hazardous Materials" 2012, 209–210, 264–270, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.01.013>.
- [43] Liu X., Wazne M., Chou T., Xiao R., Xu S., *Influence of Ca²⁺ and Suwannee River Humic Acid on aggregation of silicon nanoparticles in aqueous media*, "Water Research" 2011, 45, 1, 105–112, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.022>.
- [44] Jiang Ch., Aiken G. R., Hsu-Kim H., *Effects of Natural Organic Matter Properties on the Dissolution Kinetics of Zinc Oxide Nanoparticles*, "Environmental Science & Technology" 2015, 49, 19, 11476–11484, <https://doi.org/10.1021/acs.est.5b02406>.
- [45] Jiang X., Tong M., Kim H., *Influence of natural organic matter on the transport and deposition of zinc oxide na-*

- nanoparticles in saturated porous media*, "Journal of Colloid and Interface Science" 2012, 386, 34–43, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2012.07.002>.
- [46] Chen G., Liu X., Su Ch., *Distinct Effects of Humic Acid on Transport and Retention of TiO₂ Rutile Nanoparticles in Saturated Sand Columns*, "Environmental Science & Technology" 2012, 46, 7142–7150, <https://doi.org/10.1021/es204010g>.
- [47] Manoharan V., Ravindran A., Anjali C. H., *Mechanistic insights into interaction of humic acid with silver nanoparticles*, "Cell Biochemistry Biophysics" 2014, 68, 127–131, <https://doi.org/10.1007/s12013-013-9699-0>.
- [48] Akhil K., Chandran P., Khan S. S., *Influence of humic acid on the stability and bacterial toxicity of zinc oxide nanoparticles in water*, "Journal of Photochemistry & Photobiology" 2015, B: Biology 153, 289–295, <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2015.10.007>.
- [49] Jahan S., Yusoff I. B., Alias Y. B., Bakar A. F. B. A., *Reviews of the toxicity behavior of five potential engineered nanomaterials (ENMs) into the aquatic ecosystem*, "Toxicology Reports" 2017, 4, 211–220, <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2017.04.001>.
- [50] Ashraf M. A., Peng W., Zare Y., Rhee K. Y., *Effects of Size and Aggregation/Agglomeration of Nanoparticles on the Interfacial/Interphase Properties and Tensile Strength of Polymer Nanocomposites*, "Nanoscale Research Letters" 2018, 13, 214, <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2624-0>.
- [51] Illés E., Tombácz E., *The effect of humic acid adsorption on pH-dependent surface charging and aggregation of magnetite nanoparticles*, "Journal of Colloid and Interface Science" 2006, 295, 115–123, <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2005.08.003>.
- [52] Baruah B., Dutta J., *pH-dependent growth of zinc oxide nanorods*, "Journal of Crystal Growth" 2019, 311, 8, 2549–2554, <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgro.2009.01.135>.
- [53] Alias S., Ismail A. B., Mohamad A. A., *Effect of pH on ZnO nanoparticle properties synthesized by sol-gel centrifugation*, "Journal of Alloys Compounds" 2010, 499, 2, 231–237, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2010.03.174>.
- [54] Bian S. W., Mudunkotuwa I. A., Rupasinghe T., Grassian V. H., *Aggregation and dissolution of 4 nm ZnO nanoparticles in aqueous environments: influence of pH, ionic strength, size, and adsorption of humic acid*, "Langmuir" 2011, 27, 6059–6068, <https://doi.org/10.1021/la200570n>.
- [55] Zhang R., Zhang H., Tu Ch., Hu X., Li L., Luo Y., Christie P., *Facilitated transport of titanium dioxide nanoparticles by humic substances in saturated porous media under acidic conditions*, "Journal of Nanoparticle Research" 2015, 17, 165, <https://doi.org/10.1007/s11051-015-2972-y>.
- [56] Liu W. S., Peng Y. H., Shiung C. E., Shih Y., *The effect of cations on the aggregation of commercial ZnO nanoparticle suspension*, "Journal of Nanoparticle Research" 2012, 14, 12, 1259, <https://doi.org/10.1007/s11051-012-1259-9>.
- [57] Liu G., Wang D., Wang J., Mendoza C., *Effect of ZnO particles on activated sludge: Role of particle dissolution*, "Science of the Total Environment" 2011, 409, 14, 2852–2857, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2011.03.022>.
- [58] Xia T., Kovochich M., Liong M., Madler L., Gilbert B., Shi H., Yeh J. I., Zink J. I., Nel A. E., *Comparison of the mechanism of toxicity of zinc oxide and cerium oxide nanoparticles based on dissolution and oxidative stress properties*, "ACS Nano" 2008, 2, 10, 2121–2134, <https://doi.org/10.1021/nn800511k>.
- [59] Tang W. W., Zeng G. M., Gong J. L., Liang J., Xu P., Zhang Ch., Huang B.-B., *Impact of humic/fluvic acid on the removal of heavy metal from aqueous solutions using nanomaterials: A review*, "Science of the Total Environment" 2014, 468, 469, 1014–1027, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.09.044>.
- [60] Zhu M., Wang H., Keller A. A., Wang T., Li F., *The effect of humic acid on the aggregation of titanium dioxide nanoparticles under different pH and ionic strengths*, "Science of the Total Environment" 2014, 15, 487, 375–380, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.04.036>.
- [61] Han Y., Kim D., Hwang G., Lee B., Eom I., Kim P. J., Tong M., Kim H., *Aggregation and dissolution of ZnO nanoparticles synthesized by different methods: Influence of ionic strength and humic acid*, "Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects" 2014, 451, 7–15, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.03.030>.
- [62] Luo M., Huang Y., Zhu M., Tang Y., Ren T., Ren J., Wang H., Li F., *Properties of different natural organic matter influence the adsorption and aggregation behavior of TiO₂ nanoparticles*, "Journal of Saudi Chemical Society" 2018, 22, 146–154, <https://doi.org/10.1016/j.jscs.2016.01.007>.
- [63] Rabajczyk A., El Yamani N., Dusinska M., *The effect of time on the stability of iron oxide nanoparticles in environmental acids*, "Water Environment Research" 2017, 89, 5, 416–423, <https://doi.org/10.2175/106143016X14609975747685>.
- [64] Quik J. T. K., Lynch I., Van Hoecke K., Miermans C. J. H., De Schampelaere K. A. C., Janssen C. R., Dawson K. A., Cohen Stuart M. A., Van De Meent D., 2010: *Effect of Natural Organic Matter on Cerium Dioxide Nanoparticles Settling in Model Fresh Water*, "Chemosphere" 2010, 81, 6, 711–715, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.07.062>.
- [65] Lopes S., Ribeiro F., Wojnarowicz J., Łojkowski W., Jurkschat K., Crossley A., Soares A. M. V. M., Loureiro S., *Zinc oxide nanoparticles toxicity to Daphnia magna: size-dependent effects and dissolution*, "Environmental Toxicology and Chemistry" 2014, 33, 190–198, <https://doi.org/10.1002/etc.2413>.
- [66] Zhao J., Wang Z. Y., Dai Y. H., Xing B. S., *Mitigation of CuO nanoparticle-induced bacterial membrane damage by dissolved organic matter*, "Water Research" 2013, 47, 12, 1–10, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.11.058>.
- [67] Yang S. P., Bar-Ilan O., Peterson R.E., Heideman W., Hamers R. J., Pedersen J.A., *Influence of humic acid on Titanium dioxide nanoparticle toxicity to developing zebrafish*, "Environmental Science & Technology" 2013, 47, 9, 4718–4725, <https://doi.org/10.1021/es3047334>.
- [68] Talia E. Abbott Chalew and Kellogg J. Schwab, *Are nanoparticles a threat to our drinking water?* Johns Hopkins University Water Institute, <https://ehe.jhu.edu/water>, [dostęp: 08.09.2012].

ILONA TOMCZYK-WYDRYCH, M.SC. – she graduated from the Jan Kochanowski University in Kielce in the field of Environmental Protection with a specialization in environmental monitoring and environmental management. Employee of State Water Holding Polish Waters. Scientific interests focus on migration of metal and metal oxides nanoparticles in the aquatic environment and their interaction with compounds present in surface waters.

ANNA RABAJCZYK, D.SC. – Associate Professor at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute. She graduated from WSP in Kielce. Doctorate in chemistry at the University of Opole. Habilitation in environmental engineering at the Wrocław University of Technology. Environmental auditor. She has extensive scientific and didactic experience, and deals with issues to environmental engineering, nanotechnology, biotechnology as well as chemical transformation and environmental threats. She is an expert in national and international institutions (including NCBR, EC, The European Education and Training Expert Panel). She completed numerous both domestic and foreign internships and scholarships, she was a member in many scientific and organizational committees of both domestic and foreign conferences.

MGR ILONA TOMCZYK-WYDRYCH – Absolwentka Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, kierunek ochrona środowiska o specjalności monitoring środowiska oraz zarządzanie środowiskowe. Pracownik Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie. Zainteresowania naukowe koncentrują się na migracji nanocząstek metali i tlenków metali w środowisku wodnym oraz ich interakcji z innymi związkami obecnymi w wodach powierzchniowych.

DR HAB. ANNA RABAJCZYK – profesor Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowego Instytutu Badawczego. Absolwent WSP w Kielcach, kierunek chemia. Doktorat z chemii na Uniwersytecie Opolskim. Habilitacja z inżynierii środowiska na Politechnice Wrocławskiej. Audytor środowiskowy. Posiada bogate doświadczenie naukowe i dydaktyczne. Zajmuje się zagadnieniami inżynierii środowiska, nanotechnologii, biotechnologii oraz transformacji chemicznej i zagrożeń środowiskowych. Pełni rolę eksperta w krajowych i międzynarodowych instytucjach (m.in. NCBR, EC, The European Education and Training Expert Panel). Odbiła liczne staże i stypendia krajowe i zagraniczne, była członkiem w wielu komitetach naukowych i organizacyjnych konferencji zarówno krajowych, jak i zagranicznych.



ETCC 2020
EUROPEAN TECHNICAL COATINGS CONGRESS

Coatings
Inspirations

**ETCC2020 – European Technical Coatings Congress;
Paints & Coatings, Adhesives, Construction Materials
2-4 September 2020 • Krakow, Poland**

The most prestigious technical and scientific event, 70 years of tradition

Please save the date. More details: www.etcc2020.org

THE MOST IMPORTANT FINAL DATES:

Deadline for abstract submission – 28.02.2020

Notification of abstract authors – 30.03.2020

Please register yourself: www.etcc2020.org/en/registration

REMINDER

Exhibition during ETCC2020

Companies and organizations are invited to present their products, materials, processes, equipment, services and the latest developments in the fields of: Paints and Coatings, Adhesives, Construction Materials, Printing Inks and related products.

www.etcc2020.org/en/congress/exhibition

Please register yourself

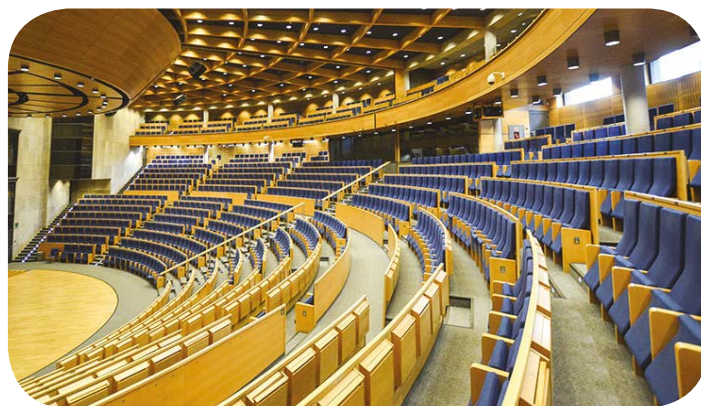
“Summer School” is the session taking place on 1st September 2020, prior to the ETCC2020 at Auditorium Maximum. Lectures and Presentations are dedicated mainly for young scientists and students.

www.etcc2020.org/en/congress/summer-school

Please register yourself

Plenary lectures by outstanding scientists.

Presentations could be published at „Progress in Organic Coatings”, Elsevier. Impact Factor 3.42.



Congress Awards

Three awards of 1000 Euro for distinguished papers in the following categories: the best congress paper, the best paper presented by young scientists, the best paper on ecological issues, as well as other prizes and awards.

Attractions:

- tours: www.etcc2020.org/en/traveling/tours
- Gala Dinner at Kościuszko Mound: www.etcc2020.org/en/congress/social-events
- Visit Krakow, the picturesque historical city listed in the UNESCO World Heritage Register

Should you have any questions, please do not hesitate to contact: etcc2020@sitpchem.org.pl

or: www.etcc2020.org

Congress Organising Committee ETCC2020

e-mail: etcc2020@sitpchem.org.pl

www.etcc2020.org

Please visit our social media:



2-4 September 2020 • Krakow, Poland • www.etcc2020.org

Ilona Tomczyk-Wydrych^{a)}, Anna Rabajczyk^{b)}*

^{a)} *The State Water Holding Polish Waters / Państwowe Gospodarstwo Wodne Wody Polskie*

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

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

Metal Nanoparticles in Surface Waters – a Risk to Aquatic Organisms

Nanocząstki metali w wodach powierzchniowych – zagrożenie dla organizmów wodnych

ABSTRACT

Purpose: The aim of this paper is to provide information on the risks posed by metal nanoparticles released into surface waters.

Introduction: Currently, the use of nanoparticles of metal and metal oxides (NPMOs) is extremely popular in various industries, and in medicine and households. Nanoparticles and nanocompounds have become significant contributors to technological progress due to their physicochemical properties such as the melting point, electrical and thermal conductivity, catalytic activity, light absorption and scattering, as well as biocompatible and bactericidal properties. These functions cause their increased performance compared to their macro counterparts. However, it should be noted that the properties of nanocomponents can create new risks to the environment and consumers.

Based on existing literature, a conclusion can be drawn that metal nanoparticles are a potential threat to plant and animal organisms, and humans. It is, therefore, necessary to intensify efforts to understand the mobility, reactivity and durability of nanocomponents in various environmental components, especially in the aquatic environment, and their toxicity to organisms.

Methodology: This paper is a literature review.

Conclusions: The increasing use of nanosubstances, in both commercial and industrial products, has caused an increasing concentration and diversity of these substances in aquatic ecosystems. Based on the analysis of literature reports, it can be concluded that the size of nanoparticles, their structure and arrangement, as well as surface properties, are subject to constant changes in the environment as a result of their interactions with other components, and of the balances shaped by a variety of geochemical and biological factors.

Numerous studies conducted in recent years in the field of nanoecotoxicology have demonstrated the existence of a risk to aquatic organisms, which could lead to their impaired development and even death. Unfortunately, the lack of a standard technique for assessing the toxicity of nanoparticles in various biological systems, such as the reproductive, respiratory, nervous and gastrointestinal systems, and the developmental stages of aquatic organisms, makes it impossible to conduct such studies in a standardised fashion.

Reports of the toxicity of metal and metal oxide nanoparticles in relation to various forms of living organisms warrant in-depth investigations into how these particles function in aqueous solutions and interact with standard substances.

Keywords: metal nanoparticles, emission, surface waters, living organisms

Type of article: review article

Received: 05.11.2019; **Reviewed:** 01.01.2020; **Accepted:** 09.01.2020;

Authors' ORCID IDs: I. Tomczyk-Wydrych – 0000-0002-1278-2615; A. Rabajczyk – 0000-0003-4476-8428;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 70–88, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.5>;

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 przedstawienie informacji na temat zagrożeń, jakie stanowią nanocząstki metali wprowadzane do wód powierzchniowych.

Wprowadzenie: Obecnie wykorzystanie nanocząstek metali i tlenków metali (NPMOs) cieszy się ogromną popularnością w różnych gałęziach przemysłu, medycynie i gospodarstwach domowych. Nanocząstki i nanozwiązki zyskały na znaczeniu w postępie technologicznym ze względu na swoje właściwości fizykochemiczne takie jak temperatura topnienia, przewodność elektryczna i cieplna, aktywność katalityczna, absorpcja i rozpraszanie światła oraz swoje biokompatybilne i bakterioobójcze właściwości. Cechy te powodują ich zwiększoną wydajność w stosunku do ich odpowiedników w skali makro. Należy jednak pamiętać, że właściwości, jakie posiadają nanozwiązki, mogą generować nowe ryzyko dla środowiska naturalnego oraz konsumentów.

Analizując dotychczasową literaturę należy stwierdzić, że nanocząstki metali stanowią potencjalne zagrożenia dla organizmów roślinnych i zwierzęcych, w tym także człowieka. Nieco jest zatem intensyfikacja prac, które pozwolą na zrozumienie mobilności, reaktywności i trwałości nanocząstek w różnych komponentach środowiska, zwłaszcza w środowisku wodnym, oraz toksyczności w stosunku do organizmów.

Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie przeglądu literatury z zakresu poruszanej tematyki.

Wnioski: Rosnące wykorzystanie nanosubstancji, zarówno w produktach komercyjnych, jak i przemysłowych, determinuje coraz większe stężenie i różnorodność tych substancji w ekosystemach wodnych. Na podstawie analizy doniesień literaturowych należy stwierdzić, że wielkość nanocząstek, ich budowa i układ oraz właściwości powierzchni podlegają ciągłym zmianom w środowisku w wyniku interakcji z innymi składnikami i równowag kształtowanych przez różnorodne czynniki bio- i geochemiczne.

Liczne badania przeprowadzone w ciągu ostatnich lat w dziedzinie nanoeotoksykologii wskazują na zagrożenie w stosunku do organizmów wodnych prowadzące do upośledzenia w rozwoju a nawet śmierci organizmów. Niestety, brak standardowej techniki oceny toksyczności nanocząstek w różnych układach biologicznych, takich jak układ rozrodczy, oddechowy, nerwowy, żołądkowo-jelitowy i stadia rozwojowe organizmów wodnych, powoduje brak możliwości standardowego prowadzenia takich badań.

Doniesienia o toksyczności NPMOs w odniesieniu do różnych form organizmów żywych powodują, że niezbędna jest wiedza w zakresie ich funkcjonowania w roztworach wodnych oraz interakcji z podstawowymi substancjami.

Słowa kluczowe: nanocząstki metali, emisja, wody powierzchniowe, organizmy żywe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 05.11.2019; **Zrecenzowany:** 01.01.2020; **Zatwierdzony:** 09.01.2020;

Identyfikatory ORCID autorów: I. Tomczyk-Wydrych – 0000-0002-1278-2615; A. Rabajczyk – 0000-0003-4476-8428;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 70–88, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.5>;

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

Introduction

The term *nanotechnology* encompasses the production and use of objects with at least one dimension in the range of 1–100 nm. Currently, it is a leading field of science, combining physics, chemistry, biology, medicine, IT and engineering. Nanotechnology plays an important role in the material- and energy-saving development of innovative high-performance products. Due to their constitution and size, heavy-metal based nanosubstances often exhibit new and significant biological, chemical and physical properties otherwise unattainable in macro- and microscopic structures. The large specific surface area, superparamagnetic properties, superior absorptivity, diverse crystalline structures and types of metal-oxide bonds make nanoparticles attractive materials offering a broad spectrum of applications in many areas of everyday life, as well as in the cosmetic, food and chemical industries, in medicine, optics and the energy industry, and in environmental protection and engineering.

Despite the many multifaceted benefits brought by the development of nanotechnology, it is important to realise that this development can also lead to new types of waste containing as-yet unregulated nanoparticles. New nano-based products, processes and materials entail the risk of associated emissions during production, application and deposition [1].

Given that the production of nanosubstances has been on the rise in recent years, it is reasonable to expect growing amounts of nanowaste. Mass consumption generates large amounts of waste, causing an increased presence of nanoparticles in wastewater and on landfills [2]. Hence, tracing nanoparticles within the biogeochemical cycle, including especially metal and metal oxide nanoparticles, which have their macroscale counterparts, is a difficult task which requires in-depth studies at various stages of the product life cycle, from the concept,

Wprowadzenie

Nanotechnologia jest terminem obejmującym produkcję oraz użytkowanie obiektów, których przynajmniej jeden wymiar zawiera się w przedziale od 1 do 100 nm. Obecnie jest jedną z wiodących dziedzin nauki, która łączy wiedzę z obszaru fizyki, chemii, biologii, medycyny, informatyki i inżynierii. Odgrywa ważną rolę w rozwoju innowacyjnych produktów o zwiększonej wydajności, przy jednoczesnym zmniejszeniu zużycia surowców i energii. Nanosubstancje oparte na skonsolidowanych z nimi metalach ciężkich, ze względu na budowę i rozmiary, często wykazują nowe istotne właściwości biologiczne, chemiczne oraz fizyczne, niemożliwe do osiągnięcia na poziomie makro- i mikroskopowych struktur. Duża powierzchnia właściwa, właściwości superparamagnetyczne, doskonała zdolność sorpcyjna, różnorodność struktury kryształów i charakter wiązań metal-tlen powodują, że nanocząstki są atrakcyjnymi materiałami o szerokim spektrum zastosowań w wielu dziedzinach życia codziennego oraz przemyśle kosmetycznym, spożywczym, chemicznym, a także w medycynie, optyce, energetyce oraz ochronie i inżynierii środowiska.

Rozwój nanotechnologii niesie ze sobą wiele korzyści w różnych sferach życia codziennego. Należy jednak podkreślić, że równocześnie może generować nowy typ odpadów, zawierających cząstki nanometryczne, wobec których nie istnieją odpowiednie regulacje prawne. Nowe produkty, procesy i materiały bazujące na substancjach „nano” wiążą się z ryzykiem emisji tych związków podczas produkcji, stosowania i depozycji [1].

Biorąc pod uwagę, że produkcja nanosubstancji w ostatnich latach dynamicznie wzrasta, można spodziewać się w konsekwencji również wzrostu ilości nanoodpadów. Zwiększeniu obecności nanocząstek w ściekach i na składowiskach odpadów sprzyja również masowa konsumpcja, generująca dużą ilość odpadów [2]. Dlatego też śledzenie losu nanocząstek w cyklu biogeochemicznym, zwłaszcza metali i tlenków metali, mających swoje odpo-

to research and development, to production and distribution, to utilisation and, finally, to disposal or recycling.

Based on the life cycle assessment, attempts were made to identify potential sources of emissions and environmental risks associated with the use of nanoparticles [3–5] (Figure 1).

It is estimated that, among other products, the global market manufactures 1,000 tonnes of personal care products containing zinc-oxide nanoparticles (ZnO NPs). The widespread use of sunscreens containing ZnO NPs leads to a substantial release of these particles into the aquatic environment, especially during summer. Scientists have estimated that at least 25% of the sunscreen applied on skin is washed off when bathing and swimming. Consequently, about 250 tonnes of ZnO NPs are released each year into the aquatic environment during summer [6–7]. What is more, the use of ZnO NPs in rubber products raised questions as to the associated environmental impact. Indeed, at the last stage of the life cycle, this compound is released to the lithosphere due to wear and tear of rubber-based materials [8]. This, in turn, might cause ZnO NPs to penetrate into the aquatic environment at further migration stages due to dry or wet deposition.

Once present in industrial and municipal wastewater, these compounds migrate further to surface waters and soil, eventually making their way to the food chain. Exploring the properties and behaviour of these substances in aqueous solutions has, therefore, become a priority for human security and environmental protection [1], [9–12].

The migrations and behaviour of these pollutants can pose environmental and human risks [10], [13–15]. This has provoked discussions about the safety of, and potential risks associated with, nanotechnology. A strong emphasis has been placed on determining the toxicity of nanostructures to various groups of organisms, including perennials, wheat, bacteria, protozoa, macrophytes, earthworms, fish, mice and rats [16–25]. It also appears extremely important to determine the characteristics and stability of nanoparticles in order to understand how they function in aqueous solutions and interact with standard substances in the environment [1], [9–12].

Sources of nanoparticle emissions

Metal nanoparticles occur naturally irrespective of human activity. They are found in the hydrosphere, atmosphere, lithosphere and biosphere. This is caused by natural processes such as photochemical reactions, volcano eruptions, forest fires, erosion, sandstorms, the last one being arguably the biggest source of metal nanoparticle emissions into the environment. As a result of air processes, NPMOs can undergo transformation, or deposit in their primary form on soil, water and plant surfaces, from which they can migrate further into the environment. Other natural sources of nanoparticles in the environment include subsoil, bottom sediments and soil. In the case of water bodies, nanostructures can also be formed by processes such as precipitation, temperature change and evaporation [26–27].

wiedniki w skali makro, nie jest łatwe i wymaga wnikliwych badań na różnym etapie cyklu życia produktu, począwszy od momentu powstania koncepcji, poprzez badania i rozwój, produkcję, dystrybucję i wykorzystanie aż do usunięcia lub recyklingu.

Bazując na analizie cyklu życia nanoprodktu (LCA, ang. *Life Cycle Assessment*) podjęto próby określenia potencjalnych źródeł emisji oraz zagrożenia dla środowiska wynikające z wykorzystania nanocząstek [3–5] (ryc. 1).

Ocenia się, że rynek globalny produkuje m.in. 1000 ton produktów pielęgnacyjnych zawierających ZnO NPs (ang. *zinc oxide nanoparticles*). Korzystanie z filtrów przeciwsłonecznych zawierających ZnO NPs powoduje, że są one w dużych ilościach wprowadzane do środowiska wodnego, zwłaszcza w okresie letniego wypoczynku. Naukowcy obliczyli, że co najmniej 25% kremu do opalania stosowanego na skórę zmywa się podczas kąpieli i pływania. Oznacza to, że około 250 ton ZnO NPs jest potencjalnie aplikowane co roku do środowiska wodnego podczas kąpieli w okresie lata [6–7]. Z kolei wykorzystanie nanocząstek tlenku cynku w produktach gumowych wywołało pytania dotyczące jego oddziaływania na środowisko, ponieważ związek ten w ostatnim etapie swojego cyklu życia emitowany jest do litosfery w wyniku ścierania gumy [8]. To z kolei może się przyczynić do wprowadzenia ZnO NPs do środowiska wodnego na dalszych etapach migracji, na skutek suchej bądź mokrej depozycji.

Obecne w ściekach przemysłowych oraz miejskich związki migrują dalej do wód powierzchniowych i gleb, a w konsekwencji wprowadzane są do łańcucha pokarmowego. Dlatego też poznanie właściwości i zachowania nanocząstek metali w roztworach wodnych staje się priorytetem w dziedzinie bezpieczeństwa, ochrony środowiska i człowieka [1], [9–12].

Losy i zachowanie się tych zanieczyszczeń mogą stanowić potencjalne zagrożenie dla środowiska oraz człowieka [10], [13–15]. Dlatego też nanotechnologia jest przedmiotem dyskusji w kontekście bezpieczeństwa i ryzyka. Duży nacisk położony jest na określenie toksyczności nanostruktur w odniesieniu do różnych grup organizmów, w tym bylin, pszenicy, bakterii, pierwotniaków, makrofitów, dżdżownic, ryb, myszy, szczurów [16–25]. Określenie cech i stabilności nanocząstek jest bardzo istotne, gdyż pozwala także zrozumieć ich funkcjonowanie w roztworach wodnych oraz w interakcji z podstawowymi substancjami obecnymi w środowisku [1], [9–12].

Źródła emisji nanocząstek

Niezależnie od ludzkiej działalności naturalnie występujące nanocząstki metali są formowane i obecne w hydrosferze, atmosferze, litosferze i biosferze. Naturalnymi procesami przyczyniającymi się do emisji nanocząstek są reakcje fotochemiczne, erupcje wulkanów, pożary lasów, erozje i burze piaskowe. Burze pyłowe są uważane za największe źródło nanocząstek metali w środowisku. W wyniku procesów zachodzących w powietrzu NPMOs mogą ulec przekształceniu bądź w postaci pierwotnej ulec depozycji na powierzchni gleby, wody, roślin, stanowiących o dalszej migracji w środowisku. Także podłoże geologiczne, osady dennie, gleba stanowią naturalne źródło nanocząstek w środowisku. W przypadku zbiorników wodnych nanostruktury mogą tworzyć się dodatkowo

The widespread use of metal nanoparticles in everyday products and many industries, including in agriculture (Table 1), has led to an ever-growing number of sources of these nanostructures.

w wyniku takich procesów jak wytrącanie, zmiana temperatury i odparowanie [26–27].

Powszechne zastosowanie nanocząstek metali w produktach codziennego użytku oraz w wielu gospodarkach przemysłu, także rolnictwie (tab. 1), powoduje, że źródeł emisji tych nanostruktur jest coraz więcej.

Table 1. Examples of nanoparticle applications in various industries and households

Tabela 1. Przykłady zastosowań nanocząstek w różnych gałęziach przemysłu i gospodarstwach domowych

Industry / Przemysł	Nanoparticles / NPs	Application / Zastosowanie	Literature / Literatura
Medicine and pharmacy / Medycyna i farmacja	Ag	antibacterial, antiviral, antifungal agents; drug carriers, wound dressings, cardiovascular implants, dental materials, for coating contact lenses, diagnosis of cancer treatment / środki przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe, przeciwgrzybiczne, nośniki leków, opatrunki na rany, implanty sercowo-naczyniowe, materiały dentystyczne, do powlekania soczewek kontaktowych, diagnostyka leczenia nowotworów /	[28]
		contrast agent for computed tomography (CT) / środek kontrastowy do tomografii komputerowej	[29]
	Au	biosensors, drug carriers / biosensory, nośniki leków	[30]
	Cu	bactericidal coatings / powłoki bakteriobójcze	[31]
		germicide, antimicrobial agent in the treatment of infectious diseases / środek bakteriobójczy, środek do zwalczania drobnoustrojów w leczeniu chorób zakaźnych	[32]
	ZnO	antibacterial toothpastes / antybakteryjne pasty do zębów	[28]
		creams, lotions as a material that absorbs UV radiation, used for cancer therapy (nanocapsules used to transport drugs in the body), dental materials as a fraction of a dental composite, coatings of medical materials (antibacterial properties, effectively reducing the possibility of infection by bacteria, e.g. <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> and <i>Pseudomonas aeruginosa</i> / kremy, balsamy jako materiał pochłaniający promieniowanie UV, wykorzystywany do terapii nowotworowej (nanokapsuły wykorzystywane do transportu leków w organizmie), materiały dentystyczne jako frakcja kompozytu stomatologicznego, powłoki materiałów medycznych (właściwości antybakteryjne, skutecznie redukujące możliwość zakażeń przez bakterie np. <i>Escherichia coli</i> , <i>Staphylococcus aureus</i> oraz <i>Pseudomonas aeruginosa</i>)	[33–36]
		bactericides, drug carriers, magnetic hydrogels, MRI contrast media / środki bakteriobójcze, nośniki leków, hydrożele o właściwościach magnetycznych, środki kontrastowe do MRI	[37]
	Fe ₂ O ₃	for labeling stem cells / do znakowania komórek macierzystych	[29]
	TiO ₂	addition to pharmaceutical products (e.g. anti-cancer drugs) / dodatek do produktów farmaceutycznych (np. leków przeciwnowotworowych)	[38]
Cosmetology / Kosmetologia	Ag	preservative e.g. shampoos, toothpastes, face creams, soaps, moisturizing wipes, deodorants, lipsticks and lip balms / środek konserwujący np. szamponów, pasty do zębów, kremy do twarzy, mydła, chusteczki nawilżające, dezodoranty, szminki i balsamy do ust	[39]
	Au	moisturizing oils, body lotions / olejki nawilżające, balsamy do ciała	[1]
	ZnO	creams with UV filters, lipsticks, lip balms / kremy z filtrami UV, szminki, balsamy do ust	[41–42]
	TiO ₂	sunscreens/filtry przeciwsłoneczne	[40-42]
	Fe ₂ O ₃	sunscreens, face cosmetics (lipsticks, eye shadows, mascaras, powders), nail polishes / kremy z filtrem, kosmetyki do twarzy (szminki, cienie do powiek, tusze do rzęs, pudry), lakiery do paznokci	[37]

Food industry / Przemysł spożywczy	Au	food packaging machine coatings / powłoki maszyn do pakowania żywności	[43]
	Ag	packaging films, refrigerators / folie opakowaniowe, lodówki	[44]
	TiO ₂	food additive / dodatek do żywności	[45]
	Fe ₂ O ₃	packaging additive, germicide, addition to food dyes / dodatek do opakowań, środek bakteriobójczy, dodatek do barwników spożywczych	[37]
	ZnO	packaging from polymer nanocomposites, in which the role of the filler is played by ZnO NPs / opakowania z nanokompozytów polimerowych, w których rolę napelnacza pełnią n-ZnO	[46]
Textile industry / Przemysł tekstylny	Ag, Au, Cu, SiO ₂	clothing, underwear, bedding, sheets, tablecloths, towels, mattresses / odzież, bielizna, pościel, prześcieradła, obrusy, ręczniki, materace	[1], [47]
	Ag, Cu, Zn	antimicrobial textiles / tkaniny zwalczające drobnoustroje	[47]
	Au/TiO ₂	fiber coatings (catalytic properties) / tworzą powłokę włókien (właściwości katalityczne)	[48]
	Cu, CuO		[49]
	ZnO	highly durable, effective fabrics for absorbing and scattering UV radiation / wysoko wytrzymałe, skuteczne w pochłanianiu i rozpraszaniu promieniowania UV tkaniny	[50]
Environmental protection and engineering / Ochrona i inżynieria środowiska	Au, Ag, TiO ₂ , ZnO	water disinfection, water treatment / dezynfekcja wody, oczyszczanie wody	[51–53]
	Cu	water treatment / oczyszczanie wody	[32]
		antibacterial and antifouling agent used in water purification / środek przeciwbakteryjny i przeciwporostowy stosowany w oczyszczaniu wody	[47]
	Fe ₂ O ₃	factor for removing metals from soil and water / adsorbent do usuwania metali z gleby i wody	[54]
	ZnO	solar farm, production of solar cells with ZnO NPs / fotowoltaika, produkcja ogniw słonecznych z nZnO	[55–57]
Car industry / Przemysł samochodowy	Zn-Mg-Al	biofuel catalyst / katalizator biopaliw	[58]
	Ag, Cu, SiO ₂	filters, air conditioning, upholstery, cables / filtry, klimatyzacja, tapicerka, kable	[37]
	Fe ₂ O ₃	paint pigments, additives for polymer coatings, self-cleaning glass coatings, gas sensors / pigmenty do farb, dodatki do powłok polimerowych, powłok szkła samoczyszczących, czujniki gazu	[37]
Electronics / Elektronika	Au, ZnSe, Fe ₃ O ₄ /Au, / oxide tlenki: Sn, Ce, Co, Fe, Ni, Au, Ag, Cu	transistors, detectors, sensors / tranzystory, detektory, czujniki	[1]
	ZnO	optoelectronics, piezoelectrics, laser technology, light-emitting diodes, nano-generators for the conversion of mechanical energy into electricity, varistors, sensors for CO and CO ₂ , H ₂ , SF ₆ , C ₄ H ₁₀ , C ₂ H ₅ OH detection / optoelektronika, piezoelektryka, technologia laserowa, diody elektroluminescencyjne, nanogeneratory do konwersji energii mechanicznej w energię elektryczną, warystory, czujniki do wykrywania CO i CO ₂ , H ₂ , SF ₆ , C ₄ H ₁₀ , C ₂ H ₅ OH	[59–63]
Construction / Budownictwo	Cu, Mo, V	steel additive / dodatek do stali	[64]
	SiO ₂	cement additive, waterproof coatings, fireproof glass / dodatek do cementu, powłoki wodoodporne, szkła ognioodporne	
	TiO ₂	self-cleaning glass, anti-reflective coatings / szkła samoczyszczące, powłoki antyrefleksyjne	
	Fe ₂ O ₃	addition to concrete, cement, ceramics, paints / dodatek do betonu, cementu, ceramiki, farb	[37]
Households / Gospodarstwa domowe	Ag	air fresheners / odświeżacze powietrza	[65]
	Ag, Au	detergents / detergenty	[66]
	Ag, Cu, SiO ₂ , TiO ₂ , ZnO	rugs, upholstered furniture, curtains, anti-bacterial coatings for countertops / dywany, meble tapicerowane, zasłony, powłoki antybakteryjne blatów	[1]

Source/Źródło: Own elaboration/Opracowanie własne.

Anthropogenic nanoparticles can penetrate into the environment in one of the three ways, i.e. by being released (i) during raw material manufacture; (ii) when used; and (iii) after the disposal of products containing nanoparticles. The release of nanoparticles into the environment can occur directly, including through diesel fuel and charcoal burning, welding, refining, smelting and smoking cigarettes; or indirectly, through wastewater treatment, landfilling, using fertilisers and pesticides, wear and tear of car tyres, and combustion [4–5]. In addition, they exhibit an increasingly complex structure, which influences their physicochemical and biological activity, and thereby the way they impact organisms.

Nevertheless, it should be mentioned that, according to Taylor (2002) [67], only about 10% of total atmospheric aerosols are caused by human activity, while naturally generated aerosols comprise as much as 90%. However, it is worth stressing at this point that due to the ever-growing use and production of nanostructures, these proportions may have changed substantially by now. Moreover, these synthetic nanoparticles are a new kind of nanoparticles with potentially adverse impacts on the environment and human health [68]. Hence, it is necessary to identify sources of these pollutants, including those related to the production of waste and landfilling, and tracing their migration routes and the changes they undergo in the environment [2], [27], [69].

Impact on aquatic organisms

The prevalence of nanosubstances in daily use materials and the economy has made it necessary to determine the toxicity of these compounds to aquatic organisms. The toxicity of nanocompounds depends on the size of the particle, shape, area, charge, chemical properties, liquid solubility, oxidability and the physical state. According to scientists, nanoparticles interact with microorganic cells in a number of mutually supportive ways – by interacting with DNA, proteins and the cell membrane, by producing toxins, and through catalytic oxidation. Metal nanoparticles have a structure which allows them to bind with the cell membrane or freely pass through it. Given the ease with which bacteria and nanoparticles can interact, their interrelations should be investigated in more depth. Some of the metal nanoparticles bond with the amino acid cysteine, which is the building block of each enzyme. This causes the destruction of the spatial structure of proteins and the inactivation of their functions. And disrupted cellular metabolism leads to the accumulation of harmful metabolic byproducts [70].

What is more, unlike their macrocounterparts, metal and metal oxide nanoparticles cause oxidative stress [71], and may cause very high localised stresses in the cell – for instance, by producing radicals [71]. Surface adsorption is closely associated with oxidative stress in microorganisms. This involves a change in the natural reducing environment of healthy cells maintained

Nanocząstki antropogeniczne mogą przedostać się do środowiska jedną z trzech dróg:

- poprzez uwolnienie podczas produkcji surowców,
- poprzez emitowanie podczas użytkowania,
- poprzez uwolnienie po usunięciu produktów zawierających nanocząstki.

Emisja nanocząstek do środowiska może odbywać się w sposób bezpośredni m.in. poprzez spalanie oleju napędowego, węgla drzewnego, spawanie, rafinację, wytapianie, a także palenie papierosów lub pośredni w wyniku oczyszczania ścieków, składowania odpadów, wykorzystania nawozów i pestycydów, ścierania opon samochodowych oraz spalania [4–5]. Nanocząstki antropogeniczne charakteryzują się coraz bardziej skomplikowaną, złożoną strukturą, co wpływa na ich aktywność fizyko-chemiczno-biologiczną i tym samym oddziaływanie na organizmy.

Należy jednakże nadmienić, że zgodnie z doniesieniami Taylor (2002) [67] tylko około 10% całkowitych aerozoli w atmosferze powstaje w wyniku działalności człowieka, podczas gdy naturalnie generowane stanowią aż 90%. Należy jednak zaznaczyć, że ze względu na coraz większe zastosowanie i produkcję nanostruktur, stosunek ten w chwili obecnej może być zdecydowanie inny. Ponadto te syntetyczne nanocząstki są nowym gatunkiem nanocząstek, które mogą wywoływać niekorzystne skutki dla środowiska i zdrowia ludzkiego [68]. Dlatego też konieczna jest identyfikacja źródeł powstawania tego typu zanieczyszczeń, łącznie z wytwarzaniem, produkcją i składowaniem odpadów. Ważną rolę odgrywać będzie również śledzenie dróg ich migracji i przemian, jakim podlegają w środowisku [2], [27], [69].

Wpływ na organizmy wodne

Duże rozpowszechnienie nanosubstancji w materiałach codziennego użytku i gospodarce spowodowało konieczność określenia toksyczności tych związków w stosunku do organizmów wodnych. Toksyczność związków z grupy „nano” zależy od rozmiaru cząstki, kształtu, powierzchni, ładunku, właściwości chemicznych, rozpuszczalności w cieczach, zdolności utleniania oraz stanu skupienia. Według naukowców istnieje kilka wspomagających się wzajemnie sposobów interakcji nanocząstek z komórkami mikroorganizmów przez oddziaływanie z DNA, białkami, błoną komórkową oraz wytwarzanie toksyn i utlenianie katalityczne. Nanocząstki metali, dzięki swojej strukturze, mogą zostać przyłączone do błony komórkowej lub swobodnie przez nią przechodzić. Łatwość powstania interakcji między bakterią a nanocząstką stwarza potrzebę głębszej analizy tych relacji. Niektóre spośród nanocząstek metali wiążą się z cysteiną – aminokwasem stanowiącym podstawę budowy każdego enzymu. W efekcie następuje zniszczenie struktury przestrzennej białka i dezaktywacja jego funkcji. Zniszczony zostaje prawidłowy metabolizm komórki, co powoduje gromadzenie się szkodliwych produktów przemiany materii [70].

Nanocząstki metali i tlenków metali powodują także powstawanie stresu oksydacyjnego, który nie jest obserwowany w kontakcie z ich odpowiednikami w skali makro [71]. Mogą one lokalnie spowodować bardzo wysokie naprężenia w komórce, na przykład wykorzystując do tego produkcję wolnych rodników [71]. Adsorpcja

by enzyme activity. Disruptions in this environment elicit toxicity through oxidative damage to proteins, carbohydrates, lipids and DNA. However, the most common toxic effect of NPMOs involves physical damage to the membrane, causing cell death as a result of perforation, altered membrane fluidity and disorganisation.

Yet, reactive oxygen species (ROS) are the main factor in bacterial death in some cases. This is true for nanoparticles whose cytotoxicity primarily consists in causing membrane disintegration by producing ROS [72–73]. There is research to suggest that a number of factors exist which additionally stimulate ROS production by nanoparticles such as Fe_2O_3 , ZnO and CuO. These factors include blue light radiation with a wavelength of 405 nm, contact with transition metals, defects and a less organised structure. Metal and metal oxide nanoparticles exhibit considerable reactivity, and absorb radiation, creating electron-hole pairs. Electron-hole pairs react with solved molecular oxygen, surface hydroxyl groups and absorbed water molecules, generating radicals with the hydroxyl group ($\cdot\text{OH}$) and peroxide ($\cdot\text{O}_2^-$) [72], [74–75].

A study by Yang (2012) [76] has shown that silver nanoparticles interact with thiol groups of cellular materials, leading to vital-enzyme inactivation and the inhibition of DNA replication. The very small (<10 nm) Ag NPs may permeate cells directly, and condition the inactivation of cell enzymes and DNA. This creates ROS and leads to cell growth inhibition, or even cell death [76–77]. Another study, conducted by Adams et al. (2006) [78], has shown that Gram-negative bacteria are less sensitive to ZnO than Gram-positive bacteria [78–79].

The minimum inhibitory concentration (MIC) for the investigated strains has shown that the impact of Ag NPs on Gram-positive bacterial growth is less significant than on Gram-negative bacterial growth. Diverse effects of nanoparticles of different metal oxides with the same oxidation state, i.e. ZnO and CuO, on Gram-negative (*Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*) and Gram-positive (*Staphylococcus aureus*, *Enterococcus hirae*) bacteria have also been revealed [80–81], indicating that only iron oxide nanoparticles exhibit some slight antibacterial effect against Gram-positive bacteria such as *Staphylococcus aureus* and *Enterococcus hirae* [80–81]. In addition, the toxicity of $\text{n-Cr}_2\text{O}_3$ has been corroborated by the findings of Ramesh et al. (2012) [82], who employed the disk diffusion test method to illustrate the antibacterial effects of Cr_2O_3 nanoparticles. They noticed large areas of microorganism growth inhibition, a sign of the compound's antibacterial properties. Moreover, they confirmed the relationship between the concentration and the bactericidal potential [82].

Scientists have proven that the bioavailability of nanoparticles is strongly dependent on their transformations in the environment. Oxidised, reducible and soluble compounds easily absorb into organism cells [4]. Some of the nanoparticles, such as Ag, ZnO i CuO, release ions into the aquatic environment, which are responsible for the toxic effect [83].

Research on the impact of nanoparticles on organisms has also involved algae, invertebrates and certain fish species, including the so-called indicator species, such as *Danio rerio*. One study found large amounts of n-TiO_2 in fish bones, which could

na powierzchni jest ściśle powiązana ze stresem oksydacyjnym u mikroorganizmów. Zjawisko to polega na zmianie naturalnego środowiska redukującego utrzymywanego w zdrowych komórkach przez aktywność enzymów. Zaburzenia w prawidłowym stanie redukcji wywołują toksyczne działanie poprzez oksydacyjne uszkodzenia białek, węglowodanów, lipidów i DNA. Jednakże najczęstsze działanie toksyczne NPMOs związane jest z fizycznym uszkodzeniem membrany, co w konsekwencji prowadzi do śmierci komórki w wyniku perforacji, zmiany płynności membrany i dezorganizacji.

Istnieją jednak przypadki, w których głównym czynnikiem wywołującym śmierć bakterii jest reaktywna forma tlenu (ROS). Właśnie cytotoksyczność nanocząstek opiera się głównie na wywoływaniu dezintegracji membran przez produkcję reaktywnych form tlenu [72–73]. Według doniesień z prowadzonych badań istnieją czynniki, które dodatkowo stymulują nanocząstki (w tym np. Fe_2O_3 , ZnO, CuO) do produkcji ROS. Takimi czynnikami są m.in. napromieniowanie światłem niebieskim o długości fali 405 nm lub kontakt z metalami przejściowymi, jak również defekty i mniej zorganizowana struktura. Nanocząstki metali i tlenków metali wykazują dużą reaktywność, absorbują promieniowanie, co z kolei prowadzi do powstawania par elektron – dziura elektronowa. Generowane pary elektron – dziura podlegają reakcjom z rozpuszczonym tlenem cząsteczkowym, powierzchniowymi grupami hydroksylowymi i zaadsorbowanymi cząsteczkami wody z wytworzeniem wolnych rodników z grup hydroksylowej ($\cdot\text{OH}$) i nadtlenu ($\cdot\text{O}_2^-$) [72], [74–75].

Wyniki badań prowadzonych przez Yang (2012) [76] wykazały, że nanocząstki srebra wchodzą w interakcje z grupami tiolowymi materiałów komórkowych, konsekwencją czego jest dezaktywacja enzymów życiowych i zahamowanie replikacji DNA. Małe rozmiarowo (<10 nm) Ag NPs mogą dostać się do komórek bezpośrednio i warunkować inaktywację enzymów komórkowych i DNA. Prowadzi to do powstania ROS i doprowadza do zahamowania wzrostu, a nawet śmierci komórki [76–77]. Natomiast badania przeprowadzone przez Adams i in. (2006) [78] wykazały, że bakterie Gram-ujemne są mniej wrażliwe na obecność nanocząstek ZnO niż Gram-dodatnie [78–79].

Minimalne stężenie hamujące (MIC) wobec badanych szczepów wykazało, że również Ag NPs mają mniej znaczący wpływ na wzrost bakterii Gram-dodatnich niż na bakterie Gram-ujemne. Wykazano również zróżnicowane oddziaływania nanocząstek różnych tlenków metali na tym samym stopniu utlenienia, tj. ZnO i CuO, na bakterie Gram-ujemne (*Escherichia coli*, *Proteus mirabilis*, *Pseudomonas aeruginosa*) i Gram-dodatnie (*Staphylococcus aureus*, *Enterococcus hirae*) [80–81]. Uzyskane wyniki wykazały, że tylko nanocząstki tlenku żelaza wykazały nieznaczące działanie przeciwbakteryjne w stosunku do bakterii Gram-dodatnich, takich jak *Staphylococcus aureus* i *Enterococcus hirae* [80–81]. Działanie toksyczne $\text{n-Cr}_2\text{O}_3$ potwierdzają również wyniki zaprezentowane przez Ramesha i in. [82]. Zespół autorski w celu zobrazowania antybakteryjnego działania nanocząsteczek Cr_2O_3 zastosował metodę krążkowo-dyfuzyjną. Widoczne były znaczne strefy zahamowania wzrostu mikroorganizmów, co świadczy o antybakteryjnych właściwościach tego związku. Potwierdzona została również prawidłowość odnośnie wpływu stężenia na stopień bakteriobójczości [82].

have been attributable to the very small sizes of molecules and their increased reactivity due to the large area of the n-TiO₂ particle. It was also noted that the accumulation of titanium oxide nanoparticles in fish bones had dramatically changed their thermal properties [84].

The zebrafish (*Danio rerio*) is a model organism widely used in nanoparticle toxicity studies. Researchers have identified several phenomena associated with nanoparticle-related toxicity, including overall toxicity (e.g. mortality, hatching rate, body length), congenital disorders (e.g. angioedema, gallbladder oedema, axial defects, nerve differentiation defects, eye development and pigmentation disorders, etc.), and behavioural changes (e.g. changes in the basal rate of swimming and the sleep-wake cycle, etc.) [85].

A study by Lacave et al. (2018) [86] involving the exposure of *Danio rerio* to silver nanoparticles has shown that the distribution of silver in the fish body is influenced by the form assumed by this element in water (either soluble or nanoparticle). The authors also found that dissolved silver caused short-term, and nanoparticles long-term, changes in the fish's body. What is more, X-ray microanalysis showed the presence of Ag NPs in the bronchi, liver and intestines. The authors of the study proved that the fish cleansed their bodies of Ag NPs after spending six months in clean waters, but their bronchitis induced by long-term exposure to silver nanoparticles persisted longer [86].

In their study, Griffitt et al. (2008) [87] used the zebrafish, *Daphnia* and algae as models of various trophic levels and feeding strategies. These organisms were exposed to silver, copper, aluminium, nickel and cobalt, in the form of both soluble nanoparticles and salts, as well as TiO₂ nanoparticles. The study found that Ag NPs and Cu NPs caused toxicity in all the investigated organisms, with TiO₂ NPs having no toxic effect in any of the conducted tests. Sensitivity to nanoparticle toxicity varied between species, with filter invertebrates being more sensitive when exposed to nanoparticles compared to larger organisms such as the zebrafish. Cu NPs and Ag NPs were toxic for all the studied organisms. LC₅₀ for Ag NPs was in the range of 0.04 mg · dm⁻³ (*Daphnia pulex*) to 7.2 mg · dm⁻³ (*Danio rerio*), while for Cu NPs it ranged from 0.06 mg · dm⁻³ (*Daphnia pulex*) to 0.94 mg · dm⁻³ (*Danio rerio*). *Daphnia pulex* was also found to be highly sensitive to Ni NPs (LC₅₀, 3.89 mg · dm⁻³). In *Ceriodaphnia dubia*, all the investigated metal nanoparticles elicited toxicity after only 48 hours. Metals in the form of nanoparticles were found to be less toxic than saline solutions. *Danio rerio* was the only organism exhibiting higher sensitivity to the nanoparticle forms of copper and silver than to their soluble forms [87].

A study by Lekmage et al. (2018) [88] has explored the toxicity of tyrosine capped silver nanoparticles (tyr-AgNP) to three freshwater invertebrates – *Hydra vulgaris*, *Daphnia carinata* and *Paratya australiensis*. Additionally, the authors of the study compared the sensitivity of these organisms to tyr-Ag NPs with their sensitivity to Ag⁺ ions. They found that Ag⁺ ions exhibited higher toxicity to all three studied species than that of tyr-Ag NPs. The analysis of LC₅₀ values for both tyr-Ag NP

Naukowcy dowiedli, że biodostępność nanocząstek jest silnie zależna od ich transformacji w środowisku. Te związki, które utleniają się, redukują, rozpuszczają, łatwo wchłaniają się do komórek organizmów [4]. Niektóre z nanocząstek, takie jak Ag, ZnO i CuO, w środowisku wodnym uwalniają jony, które są odpowiedzialne za działanie toksyczne [83].

Badania w zakresie wpływu nanocząstek na organizmy prowadzono także na glonach, bezkręgowcach i gatunkach ryb, w tym rybach stosowanych jako wskaźnikowe, jak np. *Danio rerio*. Wyniki prowadzonych badań wykazały znaczące ilości n-TiO₂ w ościach, co mogło być spowodowane bardzo małymi rozmiarami cząstek oraz ich zwiększoną reaktywnością wynikającą z dużego pola powierzchni cząstki n-TiO₂. Zauważono również, że kumulacja nanocząstek tlenku tytanu w ościach spowodowała drastyczną zmianę ich właściwości termicznych [84].

Danio przegowany (*Danio rerio*) to modelowy organizm, który jest szeroko stosowany w badaniach toksykologicznych nanocząstek. Naukowcy zaobserwowali kilka zjawisk będących wynikiem toksyczności wywołanej przez nanocząstki, w tym toksyczność ogólną (np. śmiertelność, szybkość/czas wykluwania się, długość ciała), wady rozwojowe (obrzęk naczyń i naczyń, obrzęk woreczka żółtkowego, wady osiowe, wady różnicowania nerwów, zaburzenia rozwoju oka i pigmentacji itp.) oraz zmiany w zachowaniu (np. zmiany szybkości pływania podstawy i cyklu odpoczynku / czuwania itp.) [85].

Wyniki prowadzonych badań przez Lacave i in. [86], dotyczące ekspozycji danio przegowanego (*Danio rerio*) na nanocząstki srebra wykazały, że na rozkład srebra w organizmie ryby ma wpływ forma, którą ten pierwiastek przyjmuje w wodzie (rozpuszczalna lub nanocząstka). Jednocześnie stwierdzono, że rozpuszczone srebro powoduje krótkoterminowe zmiany w organizmie ryby, a nanocząstki – zmiany długoterminowe. Mikroanaliza rentgenowska wykazała obecność Ag NPs w skrzelach, wątrobie i jelitach. Naukowcy dowiedli, że zwierzęta oczyściły się z Ag NPs zgromadzonego w ich ciałach po spędzeniu sześciu miesięcy w czystych wodach, natomiast zapalenie skrzeli utrzymywało się dłużej po ekspozycji na nanocząstki tego metalu [86].

Griffitt i in. [87] wykorzystali do badań *Danio* przegowanego, rozwielitki i glony jako modele różnych poziomów troficznych i strategii żywienia. Organizmy były narażone na srebro, miedź, glin, nikiel i kobalt – zarówno w postaci nanocząstek, jak i soli rozpuszczalnych, a także nanocząstek TiO₂. Wyniki wskazały, że Ag NPs i Cu NPs powodują toksyczność we wszystkich badanych organizmach. TiO₂ NPs nie powodowały toksyczności w żadnym z testów. Wrażliwość na toksyczność nanocząstek różniła się między gatunkami, przy czym bezkręgowce filtrujące były bardziej podatne na ekspozycję nanocząstek w porównaniu z większymi organizmami, tj. danio przegowanym. Cu NPs i Ag NPs były toksyczne dla wszystkich badanych organizmów. LC₅₀ dla Ag NPs mieściło się w zakresie od 0,04 mg · dm⁻³ (*Daphnia pulex*) do 7,2 mg · dm⁻³ (*Danio rerio*), podczas gdy dla Cu NPs od 0,06 mg · dm⁻³ (*Daphnia pulex*) do 0,94 mg · dm⁻³ (*Danio rerio*). *Daphnia pulex* była również bardzo wrażliwa na Ni NPs (LC₅₀, 3,89 mg · dm⁻³). Wszystkie badane związki metali w postaci nanocząstek powodowały toksyczność u *Ceriodaphnia dubia* już po 48 godzinach. Stwierdzono, że metale występujące w postaci nanocząstek były mniej

and Ag⁺ ions led to the conclusion that *D. carinata*, *P. australiensis* and *H. vulgaris*, respectively, were the most sensitive species [88]. A study by Zhang et al. (2015) [89] has revealed that the lethal effect of Ag NPs on *Daphnia magna* decreases in the presence of natural organic matter (NOM). More specifically, NOM was found to be able to reduce silver ions to Ag NPs under natural sunlight, and thereby to mitigate the severe toxicity of AgNPs [89].

Gosteva et al. (2015) [90] concluded that the toxicity of TiO₂ NPs and Al₂O₃ NPs to *Chlorella vulgaris* Beijer and *Daphnia magna* Straus depended on the size, concentration and form of the nanoparticles. They established that TiO₂ NPs averaging 5 and 90 nm in size and Al₂O₃ NPs averagely sized 7 and 70 nm belonged to the category of compounds with severe toxicity to the organisms in question. Conversely, no severe toxicity was found for TiO₂ NPs (averaging 50 nm in size) and their macro-counterparts [90].

Borase et al. (2019) [91] conducted a study in which they used *Moina macrocopa* to explore the impact of gold nanoparticle toxicity. The 48-hour LC₅₀ for this organism exposed to Au NPs was 14 ± 0.14 mg · dm⁻³. The sublethal exposure of young *M. macrocopa* to Au NPs (1.47 and 2.95 mg · dm⁻³) reduced the activity of acetylcholinesterase and digestive enzymes (trypsin and amylase). The concentration-driven increase in the activity of antioxidative enzymes such as catalase, superoxide dismutase and glutathione S-transferase suggested oxidative stress in *M. macrocopa* when exposed to Au NPs [91].

It should be noted that these insights into the impact of nanoparticles on freshwater organisms are largely limited, as they were gained from short-term (≤48 h) standardised studies of toxicity, which both failed to address NP migration, and lacked an understanding of the underlying toxicity mechanisms. However, one study found that under longer exposure times (72–96 h) an n-TiO₂ suspension caused toxicity to *Daphnia magna* at a nominal concentration of 3.8 (72 h EC(50)) and 0.73 mg · dm⁻³ (96 h EC(50)) (Table 2). The authors proposed a hypothesis that the toxicity mechanism involved the coverage of the organism surface followed by disturbances in moulting. When exposed (≤6 h) to an n-TiO₂ solution with a concentration of 2 mg · dm⁻³, newborn *D. magna* exhibited “biological surface coating” which disappeared within 36 h, over which the first moulting of the exposed organisms was 100-percent successful. Exposure lasting up to 96 h led to the reformation of the surface coating, and substantially reduced the moulting rate to 10%, causing the mortality rate to increase to 90%. Since the large majority of aquatic organisms have the coating, this form of physical toxicity of NP MOs may have widespread adverse effects on environmental health [92].

Aruoja et al. (2015) [93] investigated the toxicity of a large body of metal oxide nanoparticles (Al₂O₃, Co₃O₄, CuO, Fe₃O₄, MgO, Mn₃O₄, Sb₂O₃, SiO₂, ZnO, TiO₂ and WO₃) using such organisms as the *Pseudokirchneriella subcapitata* algae, three species of bacteria (*Vibrio fischeri*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*) and the *Tetrahymena thermophila* protozoa. Their algae growth inhibition tests revealed that algae with EC₅₀ in the range of 0.1 – 58 mg · dm⁻³ were the most sensitive among

toksyczne niż roztwory soli. Jedynie *Danio rerio* był bardziej wrażliwy na nanocząsteczkowe postacie miedzi i srebra niż na ich rozpuszczalne formy [87].

Lekamge i in. [88] zbadali toksyczność nanocząstek srebra pokrytych tyrozyną (tyr-AgNP) wobec trzech bezkręgowców słodkowodnych *Hydra vulgaris*, *Daphnia carinata* i *Paratya australiensis*. Dodatkowo wrażliwość badanych organizmów na tyr-Ag NPs porównywali z jonem Ag⁺. Wyniki badań wykazały, że toksyczność jonów Ag⁺ dla wszystkich trzech badanych gatunków była wyższa niż toksyczność tyr-Ag NPs. Na podstawie otrzymanych wartości LC₅₀ zarówno dla tyr-Ag NP, jak i jonów Ag⁺, stwierdzono, że najbardziej wrażliwym gatunkiem jest *D. carinata*, a w dalszej kolejności *P. australiensis* i *H. vulgaris* [88]. Z kolei badania Zhang i in. [89] wykazały, że śmiertelne działanie Ag NPs na *Daphnia magna* zmniejszało się w obecności NOM. W naturalnym świetle słonecznym NOM może redukować jony srebra do Ag NPs, a tym samym łagodzić ostrą toksyczność AgNPs [89].

Gosteva i in. [90] wywnioskowali, że toksyczności TiO₂ NPs i Al₂O₃ NPs na *Chlorella vulgaris* Beijer i *Daphnia magna* Straus zależy od wielkości, stężenia i formy nanocząstek. Ustalili, że TiO₂ NPs (o średnich rozmiarach 5 oraz 90 nm), Al₂O₃ NPs (o średnich rozmiarach cząstek 7 oraz 70 nm) należą do kategorii związków o toksyczności ostrej wobec wskazanych organizmów. Nie odnotowali natomiast żadnej toksyczności ostrej dla TiO₂ NPs (o średnich rozmiarach cząstek 50 nm) i jego makro postaci [90].

Moina macrocopa została wykorzystana w badaniu Borase i in. [91] do analizy wpływu toksyczności nanocząstek złota. 48-godzinna wartość LC50 dla Au NPs wynosiła 14 ± 0,14 mg · dm⁻³ w stosunku do użytego organizmu. Narażenie subletalne dla młodocianych *M. macrocopa* na Au NPs (1,47 i 2,95 mg · dm⁻³) zmniejszało aktywność acetylocholinoesterazy i enzymów trawiennych, tj. trypsyny i amylazy. Zależny od stężenia wzrost aktywności enzymów przeciwutleniających, takich jak katalaza, dysmutaza nadmanganowa i S-transferaza glutationowa, sugerował powstanie stresu oksydacyjnego w *M. macrocopa* po ekspozycji na Au NPs [91].

Należy zaznaczyć, że wiedza o wpływie nanocząstek na organizmy słodkowodne jest w dużej mierze ograniczona do krótkoterminowych (≤ 48 h) standardowych badań toksyczności, którym brakuje zarówno charakterystyki losów migracji NPs, jak i zrozumienia podstawowych mechanizmów wywołujących toksyczność. Zastosowanie dłuższego czasu ekspozycji (72–96 h) wykazało, że zawiesina n-TiO₂ doprowadza do toksyczności *Daphnia magna* przy nominalnym stężeniu 3,8 (72 h EC(50)) i 0,73 mg · dm⁻³ (96 h EC(50)) (tab. 2). Zgodnie z zaprezentowaną hipotezą mechanizm działania toksycznego obejmuje pokrywanie powierzchni organizmu, a następnie wprowadzenie zakłóceń w procesie linienia. Nowonarodzone *D. magna* (≤ 6 h) wystawione na oddziaływanie roztworu n-TiO₂ o stężeniu 2 mg · dm⁻³ wykazały „biologiczne powłoki powierzchniowe”, które zanikały w ciągu 36 h, w czasie których pierwsze linienie zakończyło się powodzeniem u 100% odsloniętych organizmów. Ekspozycja do 96 h doprowadzała do ponownego tworzenia powłoki powierzchniowej i znacznie zmniejszyła szybkość linienia do 10%, w wyniku czego nastąpił wzrost śmiertelności do 90%. Ponieważ zdecydowana większość organizmów wodnych posiada powłoki, ta forma toksyczności fizycznej NPMOs

the organisms under study. However, the highest toxicity to all organisms except for protozoa was found for CuO and ZnO ($EC_{50} < 1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$). This was probably due to the formation of toxic Cu^{2+} and Zn^{2+} . Conversely, at a concentration of $100 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, MgO nanoparticles showed no adverse effect on the studied organisms.

może spowodować powszechne negatywne skutki dla zdrowia środowiskowego [92].

Table 2. Toxicity of selected metal oxide nanoparticles relative to selected metal oxide nanoparticles

Tabela 2. Toksyczność wybranych nanocząstek tlenków metali względem wybranych nanocząstek tlenków metali

NPMOs	Organism / Organizm	Toxicity / Toksyczność			Literature / Literatura
		EC50	EC20	NOEC	
ZnO	<i>Vibrio fischeri</i> (Gram-negative luminescent bacteria / Bakterie luminescencyjne Gram-ujemne)	1.9±0.2	0.9±0.4	0.75 (0.6)	[94]
CuO		79 ± 27	24±5	16 (12)	
TiO ₂		> 20000	> 20000	> 20000	
ZnO	<i>Daphnia magna</i> (Daphnia - protozoan / rozwieltka–pierwotniak)	3.2 ± 1.3 (2.6 ± 1.04)	2.45-1.6 (2.0±1.3)	0.5 (0.4)	
CuO		3.2 ± 1.6 (2.6 ± 1.3)	1.2±0.6 (0.96±0.48)	0.5 (0.4)	
TiO ₂		>20000	not tested / nie testowany	not tested / nie testowany	
ZnO	<i>Thamnocephalus platyurus</i> (crustacean / skorupiak)	0.18 ± 0.03 (0.1 4± 0.02)	0.12 ± 0.04 (0.09 ± 0.03)	0.03 (0.02)	
CuO		2.1±0.5 (1.7±0.4)	1.65 ± 0.64 (1.32 ± 0.51)	0.5 (0.4)	
TiO ₂		> 20000	> 20000	> 20000	
ZnO	<i>Pseudokirchneriella subcapitata</i> (microalgae / mikroalga)	0.042	0.023	0.017	[95]
CuO		0.710	0.504	0.421	
TiO ₂		5.83	1.81	0.984	
ZnO	<i>Vibrio fischeri</i> (Gram-negative luminescent bacteria / Bakterie luminescencyjne Gram-ujemne)	2.632		< 1.25	[96]
TiO ₂		> 300		300	
MgO		25.46		7.5	
CuO		5.903		1.56	
CuO	<i>Tetrahymena thermophila</i> (protozoan / pierwotniak)	97.9 (80.4-138)			[97]
ZnO		6.8 (6.4-7.3)			
Al ₂ O ₃	<i>Pseudokirchneriella subcapitata, Vibrio fischeri, Escherichia coli, Staphylococcus aureus, Tetrahymena thermophila.</i>	< 100			[93]
SiO ₂		< 100			
WO ₃		< 100			
Sb ₂ O ₃		< 100			

EC – effective concentration – the concentration of the toxicant causing specific changes (effects) in the tested organisms; the determination result is provided as a concentration inhibiting 20% (EC20) or 90% (EC90) of a given physiological process; NOEC – no observed effect concentration – the largest concentration (dose) at which there is no significant increase in the incidence or severity of effects of a given substance on the tested organisms relative to controls.

EC – stężenie efektywne – stężenie toksykanta powodujące powstawanie określonych zmian (efektów) w organizmach testowych; jako wynik oznaczania podawane jest stężenie hamujące w 20% (EC20) lub 90% (EC90) dany proces fizjologiczny; NOEC – największe stężenie (dawka), przy którym nie występuje istotny wzrost częstości lub nasilenia skutków działania lub nasilenia skutków działania danej substancji u badanych organizmów w stosunku do kontroli.

Source/Źródło: Own elaboration/Opracowanie własne.

Tests involving *Danio rerio* were also conducted to investigate the toxicity of NiO nanoparticles. It was found that n-NiO have low toxicity due to LC_{50} (30 days) being at $45.0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, and LC_{100} (the minimum concentration causing a 100-percent death rate) was at $100.0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, and LC_0 (maximum non-lethal concentration) at $6.25 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ for adult specimens of the zebrafish. Long-term exposure to n-NiO can lead to an accumulation of this nanocompound in the affected organism's tissues and to an increase in toxicity, having an adverse effect on the population of aquatic organisms and the dynamics of feeding structures in aquatic systems [98].

Particle size is one of the features taken into consideration when analysing the behaviour and properties of metal nanoparticles. It was found that a smaller particle size provides a larger area and reactivity, facilitating permeation of cells and organisms by nanoparticles, and effectively augmenting toxic effects. Lopes et al. (2014) [99] conducted a study using nanoparticles sized 30 and 80–100 nm. They concluded that the toxicity of the nanoparticles was driven primarily by their form. Moreover, they noticed that in the case of severe toxicity, ZnO macroparticles exhibited a larger LC_{50} , compared to that of n-ZnO, which was probably the consequence of zinc having both the particulate and ionic form. Indeed, within 48 hours particles larger than 200 nm released more ions compared to n-ZnO of various grain sizes, this being the likely cause of the similarities in LC_{50} values found between the nanoparticles and the ions [99]. Toxicity is also influenced by aggregation in aqueous suspensions, to which nanoparticles are highly prone. Aggregation causes changes in physicochemical properties, making particles less available and thus less toxic [99].

One study investigated the ecotoxicity of n-TiO₂ sized 10 and 30 nm, and of TiO₂ sized 300 nm, for the green algae *Pseudokirchneriella subcapitata* [100]. Algae growth inhibition was found for all analysed n-TiO₂ particles. It should be noted, however, that the presence of TiO₂ nanoparticles reduced the toxicity of bioavailable cadmium, which was most likely the effect of Cd²⁺ sorption/complexation on the surface of titanium(II) oxide nanoparticles. However, TiO₂ nanoparticles sized 30 nm were found to cause increased growth inhibition, which could be explained by the concentration of Cd(II) ions, suggesting a potential combination of the toxic effects of TiO₂ and cadmium ions [100]. TiO₂ ecotoxicity was also found for *Ceriodaphnia dubia*, a species of water flea in the class *Branchiopoda*, living in freshwater lakes, ponds and marshes in most countries in the world, and used in toxicity testing of wastewater treatment plant effluent water in the United States [101].

Freshwater Anthropoda include *Daphnia similis*, which are found in saline waters, alkaline ponds and fishless bodies of water, and *Daphnia pulex*, which live in temporary and permanent ponds and small lakes. The presence of CeO₂ nanoparticles has a toxic effect on these organisms at a given concentration under 48 hours' exposure. EC_{50} was observed for *Daphnia similis* already at $0.26 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, and for *Daphnia pulex* at $91.79 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$. The toxicity of n-CeO₂ to *Daphnia similis* is, therefore, 350 times larger than to *Daphnia pulex* [102].

Aruoja i in. [93] przebadali szeroką grupę nanocząstek tlenków metali (Al₂O₃, Co₃O₄, CuO, Fe₃O₄, MgO, Mn₃O₄, Sb₂O₃, SiO₂, ZnO, TiO₂ oraz WO₃) pod względem toksyczności z zastosowaniem takich organizmów jak: algi *Pseudokirchneriella subcapitata*, trzy gatunki bakterii (*Vibrio fischeri*, *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*) oraz pierwotniaki *Tetrahymena thermophila*. Uzyskane przez nich wyniki testu hamowania wzrostu glonów wykazały, że organizmy te z wartościami EC_{50} w zakresie od 0,1–58 $\text{mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, są najbardziej wrażliwe spośród analizowanych organizmów. Jednakże najwyższą toksycznością względem wszystkich organizmów, z wyjątkiem pierwotniaków, charakteryzowały się CuO i ZnO ($EC_{50} < 1 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$), prawdopodobnie ze względu na powstawanie toksycznych jonów Cu²⁺ i Zn²⁺. Nanocząstki MgO natomiast nie wykazały w ogóle negatywnego wpływu na organizmy przy stężeniu poniżej $100 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ [93].

Badania na *Danio rerio* prowadzono także w celu sprawdzenia toksyczności nanocząstek NiO. Wyniki badań wykazały, że n-NiO charakteryzują się niską toksycznością, gdyż LC_{50} (30 dni) wynosiła $45,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, natomiast LC_{100} (minimalne stężenie powodujące 100% śmiertelności) było na poziomie $100,0 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$, a LC_0 (maksymalne stężenie niepowodujące śmiertelności) wyniosło $6,25 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-3}$ dla dorosłych osobników danio przegowanego. Narażenie organizmu na wieloletnie oddziaływanie n-NiO może prowadzić do akumulacji nanocząstki w tkankach i do zwiększenia toksyczności, co może mieć negatywny wpływ na populację organizmów wodnych oraz dynamikę kształtowania struktur pokarmowych w systemach wodnych [98].

Rozmiar cząstek jest jedną z cech, na które zwraca się uwagę w analizach zachowania i właściwości nanocząstek metali. Stwierdzono, że mniejszy rozmiar cząstki zapewnia większą powierzchnię i reaktywność. Umożliwia tym samym skuteczniejsze przenikanie nanocząstek do komórek i organizmów, co determinuje wyższe efekty toksyczności. Lopes i in. [99] przeprowadzili badania z zastosowaniem nanocząstek o rozmiarach 30 i 80–100 nm i stwierdzili, że toksyczność nanocząstek wynikała przede wszystkim z ich formy. Zauważyli ponadto, że w przypadku ostrej toksyczności makrocząstki ZnO wykazywały niższą wartość LC_{50} w porównaniu z wartościami n-ZnO, co prawdopodobnie było konsekwencją występowania cynku zarówno w postaci cząsteczkowej, jak i jonowej. W ciągu 48 godzin bowiem, cząstki o rozmiarach większych niż 200 nm uwolniły więcej jonów w porównaniu z n-ZnO, o różnej wielkości ziaren. Prawdopodobnie to jest przyczyną podobieństwa między wartościami LC_{50} stwierdzonymi między nimi a formą jonową [99]. Wpływ na toksyczność ma także agregacja w wodnych zawiesinach, której nanocząsteczki są bardzo podatne. W wyniku agregacji następuje zmiana właściwości fizykochemicznych, cząstki są mniej dostępne i tym samym mogą być mniej toksyczne [99].

Ekotoksyczność n-TiO₂ o rozmiarach 10 i 30 nm oraz dla TiO₂ o rozmiarach 300 nm, badano w odniesieniu do słodkowodnych alg zielonych *Pseudokirchneriella subcapitata* [100]. Zahamowanie wzrostu glonów stwierdzono dla wszystkich analizowanych cząstek n-TiO₂. Należy jednak zaznaczyć, że obecność nanocząstek TiO₂ zmniejszała toksyczność biodostępnego kadmu, co prawdopodobnie jest spowodowane sorpcją/kompleksowaniem jonów Cd²⁺ na powierzchni nanocząstek tlenku tytanu(II). Jednakże w przypadku nanocząstek TiO₂ o rozmiarach 30 nm stwierdzono zwiększoną inhibicję wzrostu niż wynikałoby to ze stężenia jonów Cd(II), co wska-

CeO₂ nanoparticles exhibit toxic or stress-inducing effects also to:

- the *Escherichia coli* and *Bacillus subtilis* bacteria [103–104], the *Anabaena CPB4337* cyanobacteria [105];
- the *Pseudokirchneriella subcapitata* aquatic green algae [105–107];
- the *Caenorhabditis elegans* vertebrae [108], the *Gammarus roeseli* and the *Dreissena polymorpha* bivalve [109], *Mytilus galloprovincialis* [110];
- and the *Oncorhynchus mykiss* vertebrae [111].

Benthos is an enormously important community of organisms in aquatic ecosystems. They serve important functions in aquatic processes, affecting the quality of waters and determining the presence of other organisms, especially plants. Hence, the presence of metal and metal oxide nanoparticles in water is very important, as under favourable aquatic conditions, they can undergo sedimentation and sorption on bottom sediments, thereby forming subsoil. Research has shown that the widely used n-Al₂O₃ is toxic and has a tendency to bioaccumulate in such benthos organisms as:

- the sludge worm (*Tubifex tubifex*) – food for invertebrates and fish;
- *Hyalella Azteca* – food for most aquatic amphibians;
- *Lumbriculus Variegatus* – largely feeding on dead organic matter; they are an excellent source of food for newt larvae;
- *Corbicula Fluminea* – a natural filter used for biotesting [112].

It should be added that in many cases the size distribution of commercially prepared particles deviates considerably from producer specifications. Furthermore, the use of microorganisms to create NPMOs poses additional difficulties in assessing the risk of presence of various metal and metal oxide nanoparticle structures in the aquatic environment. One example of this involves studies on the development of silver nanoparticles using *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli*, *Enterobacter cloacae* [113–114], as well as *Pseudomonas stutzeri* [115]. In normal conditions, the synthesis of Au and Ag nanoparticles is also based on organisms such as *Lactobacillus* [116], *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* and *Enterobacter cloacae* [117, 118].

zuje na możliwość połączenia efektu toksyczności nanocząstek TiO₂ oraz jonów kadmu [100]. Ekotoksyczność TiO₂ stwierdzono także w stosunku *Ceriodaphnia dubia*, gatunku pchły wodnej w klasie skrzelonogi, żyjącej w jeziorach, stawach i bagnach w większości krajów oraz stosowanej w testach toksyczności oczyszczalni ścieków wody w Stanach Zjednoczonych [101].

Do słodkowodnych stawonogów zaliczane są m.in. *Daphnia similis*, która występuje w wodach zasolonych, alkalicznych stawach, bezrybnych zbiornikach wodnych, oraz *Daphnia pulex* żyjąca w tymczasowych i trwałych stawach oraz małych jeziorach. Obecność nanocząstek CeO₂ powoduje toksyczne działania względem tych organizmów przy stężeniu 48-godzinnej ekspozycji, przy czym EC₅₀ dla *Daphnia similis* zaobserwowano już przy stężeniu 0,26 mg · dm⁻³, podczas gdy dla *Daphnia pulex* przy stężeniu 91,79 mg · dm⁻³. Toksyczność n-CeO₂ względem *Daphnia similis* jest zatem 350 razy większa niż w stosunku do *Daphnia pulex* [102].

Nanocząstki CeO₂ wykazują właściwości toksyczne lub wywołujące stres także względem:

- bakterii *Escherichia coli* i *Bacillus subtilis* [103–104], cyanobacteria *Anabaena CPB4337* [105],
- aquatic green alga *Pseudokirchneriella subcapitata* [105–107],
- kręgowców *Caenorhabditis elegans* [108], *Gammarus roeseli* i małż *Dreissena polymorpha* [109], *Mytilus galloprovincialis* [110],
- kręgowców *Oncorhynchus mykiss* [111].

W ekosystemach wodnych ogromne znaczenie ma bentos. Organizmy te pełnią istotne role w procesach zachodzących w wodzie, kształtując tym samym jakość wód, determinując obecność innych organizmów, zwłaszcza roślinnych. Dlatego też istotne znaczenie ma zawartość nanocząstek metali i tlenków metali, które w wodach w sprzyjających warunkach mogą ulec sedimentacji, sorpcji na osadach dennych i tym samym budować podłoże. Wyniki badań wskazują, że powszechnie stosowany n-Al₂O₃ wykazuje toksyczność oraz tendencje do bioakumulacji względem takich organizmów bentosowych, jak:

- rurecznik pospolity (*Tubifex Tubifex*) – pokarm dla bezkręgowców i ryb,
- kielże meksykańskie (*Hyalella Azteca*) – pokarm dla mniejszych płazów wodnych,
- dżdżowniczka (*Lumbriculus Variegatus*) – większość żywi się martwą materią organiczną, stanowią doskonałe źródło pokarmu dla larw traszek,
- mięczak wodny (*Corbicula Fluminea*) – naturalny filtr, stosowany do biotestów [112].

Należy dodać, że w wielu przypadkach rozkład wielkości cząstek przygotowanych w handlu odbiega znacząco od specyfikacji wytwórcy. Ponadto dodatkowe trudności w ocenie ryzyka obecności różnych struktur nanocząstek metali i tlenków metali w środowisku wodnym stwarza wykorzystywanie mikroorganizmów do tworzenia NPMOs, czego przykładem są badania nad tworzeniem nanocząstek srebra przez *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* i *Enterobacter cloacae* [113–114] oraz za pomocą *Pseudomonas stutzeri* [115]. Synteza nanocząstek Au i Ag w warunkach standardowych także oparta jest na organizmach takich jak *Lactobacillus* [116] czy *Klebsiella pneumoniae*, *Escherichia coli* i *Enterobacter cloacae* [117–118].

Summary and conclusions

Metal nanoparticles are increasingly coming into use across various areas of everyday life (including cosmetics, medicine and pharmaceuticals, electronics and clothing). Thus, they are also becoming a major environmental pollutant (especially in wastewater). Reports on the toxicity of NPMOs to various forms of living organisms warrant investigations into how these pollutants function in aqueous solutions and interact with standard substances. However, current research has been focusing primarily on the methods of synthesising nanostructures, and on exploring their properties for potential market applications.

The literature review gives rise to a presumption that the size of nanoparticles, their constitution, distribution and surface properties are undergoing constant changes in the environment due to their interactions with other components, and as a result of the balances shaped by diverse bio- and geochemical properties. Hence, the particle size distribution may change in response to reactions such as sorption, aggregation, precipitation, solution and microorganism-driven processes. It is necessary to understand the mechanisms and kinetics of the processes occurring in the aquatic environment for metal nanoparticles, and whether and how electric potential can be created at the particle interface.

The growing use of nanosubstances in both commercial and industrial products has led to their accumulation in the aquatic ecosystem. The rapid development and large-scale production of nanocompounds over the last several decades has raised concerns about the potential risks they pose to the health of aquatic flora and fauna. Despite the extensive research on nanoecotoxicology in recent years, a standardised technique is yet to be developed for the assessment of nanoparticle toxicity in various biological systems, including the reproductive, respiratory, nervous and gastrointestinal systems, as well as the developmental stages of aquatic organisms. More research is needed in this area to help draft legislation on controlling the release of nanocompounds into the aquatic environment and their impact on aquatic organisms [119].

It should be noted at this point that the subjects of studies are not always specific to surface waters. However, since the pretreated wastewater is released into surface waters together with bacteria that are specific also to humans, it is necessary to investigate how they interact with NPMOs. The insights so gained could help to optimise wastewater treatment processes using nanotechnology and NPMOs.

Podsumowanie i wnioski

Nanocząstki metali coraz powszechniej są stosowane w różnych dziedzinach życia człowieka (m.in. kosmetyka, medycyna i farmaceutyka, elektronika, odzież). W związku z tym stanowią one coraz bardziej istotną grupę związków emitowanych do środowiska (zwłaszcza w postaci ścieków), a doniesienia o toksyczności NPMOs w odniesieniu do różnych form organizmów żywych powodują, że niezbędna jest wiedza w zakresie ich funkcjonowania w roztworach wodnych oraz interakcji z podstawowymi substancjami. Jednakże badania prowadzone w poszczególnych ośrodkach skupiają się przede wszystkim na metodach syntezy nanostruktur, analizy ich właściwości pod względem możliwości zastosowania w gospodarce.

Analiza poszczególnych doniesień literaturowych pozwala przypuszczać, że wielkość nanocząstek, ich budowa i układ oraz właściwości powierzchni podlegają ciągłym zmianom w środowisku w wyniku interakcji z innymi składnikami i równowag kształtowanych przez różnorodne czynniki bio- i geochemiczne. Rozkład wielkości cząstek może zatem ulec zmianie w odpowiedzi na zachodzące reakcje, takie jak sorpcja, agregacja, strącanie, rozpuszczanie oraz procesy uwarunkowane obecnością mikroorganizmów. Konieczne jest poznanie mechanizmów oraz kinetyki procesów zachodzących w środowisku wodnym w odniesieniu do nanocząstek metali oraz możliwości tworzenia potencjału elektrycznego na granicy faz cząsteczek.

Rosnące zastosowanie nanosubstancji – zarówno w produktach komercyjnych, jak i przemysłowych – doprowadziło do ich akumulacji w ekosystemie wodnym. Szybki rozwój i produkcja nanozwiązków na dużą skalę w ciągu ostatnich kilku dziesięcioleci wzbudziły obawy dotyczące ich potencjalnego zagrożenia dla zdrowia środowiska dla fauny i flory wodnej. Przeprowadzono już wiele badań w ciągu ostatnich lat w dziedzinie nanoekotoksykologii, jednak nie ma jeszcze żadnej standardowej techniki oceny toksyczności nanocząstek w różnych układach biologicznych, takich jak układ rozrodczy, oddechowy, nerwowy, żołądkowo-jelitowy i stadia rozwojowe organizmów wodnych. Niezbędne są badania w tym kierunku w celu opracowania przepisów do kontroli wpływu nanozwiązków na organizmy wodne i ich uwalniania do środowiska wodnego [119].

Należy także zaznaczyć, że obiekty badań nie zawsze są charakterystyczne dla wód powierzchniowych. Jednakże ze względu na emisję podczyszczonych ścieków do wód powierzchniowych wraz z bakteriami charakterystycznymi także dla człowieka, konieczna jest ich analiza pod kątem interakcji z NPMOs. Wiedza w tym zakresie może doprowadzić do optymalizacji technologicznych procesów oczyszczania ścieków w oparciu o nanotechnologię i NPMOs.

List of abbreviations / Wykaz skrótów

NPs	– nanoparticles	NPs	– nanocząstki
NPMOs	– nanoparticles of metal and metal oxides	NPMOs	– nanocząstki metali i tlenków metali
LCA	– Life Cycle Assessment	LCA	– ang. <i>Life Cycle Assessment</i> , ocean cyklu życia produktu
ROS	– reactive oxygen species	ROS	– reaktywna forma tlenu
LD ₅₀	– lethal dose	LD ₅₀	– ang. <i>lethal dose</i> , medialna dawka śmiertelna
EC	– effective concentration	EC	– ang. <i>effective concentration</i> , stężenie efektywne
NOEC	– No Observed Effect Concentration	NOEC	– ang. <i>No Observed Effect Concentration</i> , największe stężenie, dla którego nie występuje istotny wzrost częstości lub nasilenia skutków działania danej substancji badanych organizmów w stosunku do próbki kontrolnej.

Literature / Literatura

- [1] Rabajczyk A., *Possibilities for analysis of selected nano-metals in solid environmental samples*, „Desalination and Water Treatment” 2016, 57, 3, 1598–1610, <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1030109>.
- [2] Kurwadkar S., Pugh K., Gupta A., Ingole S., *Nanoparticles in the Environment: Occurrence, Distribution, and Risks*, „Journal of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste” 2015, 19, 3, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HZ.2153-5515.0000258](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HZ.2153-5515.0000258).
- [3] Feijoo S., González-García S., Moldes-Diz Y., Vazquez-Vazquez C., Feijoo G., Moreira M. T., *Comparative life cycle assessment of different synthesis routes of magnetic nanoparticles*, „Journal of Cleaner Production” 2017, 143, 528–538, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.079>.
- [4] Amde M., Liu J., Tan Z.-Q., Bekana D., *Transformation and bioavailability of metal oxide nanoparticles in aquatic and terrestrial environments. A review*, „Environmental Pollution” 2017, 230, 250–267, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2017.06.064>.
- [5] Bundschuh M., Filser J., Lüderwald S., McKee M. S., Metreveli G., Schaumann G. E., Schulz R., Wagner S., *Nanoparticles in the environment: where do we come from, where do we go to?*, „Environmental Sciences Europe” 2018, 30, 1, <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0132-6>.
- [6] Baker T. J., Tyler Ch. R., Galloway T. S., *Impacts of metal and metal oxide nanoparticles on marine organism*, „Environmental Pollution” 2014, 5, 257–271, <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.11.014>.
- [7] Zhou H., Wang X., Zhou Y., Yao H., Ahmad F., *Evaluation of the toxicity of ZnO nanoparticles to Chlorella, vulgaris by use of the chiral perturbation approach*, „Analytical and Bioanalytical Chemistry” 2014, 406, 3689–3695, <https://doi.org/10.1007/s00216-014-7773-0>.
- [8] Kołodziejczak-Radzimska A., Jesionowski T., *Zinc Oxide – From Synthesis to Application: A Review*, „Materials” 2014, 7, 2833–2881, <https://doi.org/10.3390/ma7042833>.
- [9] Sahu S. C., Hayes A. W., *Toxicity of nanomaterials found in human environment*, „Toxicology Research and Application” 2017, 1, <https://doi.org/10.1177/2397847317726352>.
- [10] Goyal P., Basniwal R. K., *Toxicity of Nanoparticles and Their Impact on Environment*, „Soil Biology” 2017, 48, 531–543, https://doi.org/10.1007/978-3-319-46835-8_21.
- [11] Măruțescu L., Chifiriuc M. C., Postolache C., Pircalabioru G. G., Bolocan A., *Nanoparticles' toxicity for humans and environment*, „Nanomaterials for Drug Delivery and Therapy” 2019, 515–535, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816505-8.00012-6>.
- [12] Han Y., Kim D., Hwang G., Lee B., Eom I., Kim P. J., Tong M., Kim H., *Aggregation and dissolution of ZnO nanoparticles synthesized by different methods: Influence of ionic strength and humic acid*, „Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects” 2014, 451, 7–15, <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.03.030>.
- [13] Pourzahedi L., Eckelman M. J., *Comparative life cycle assessment of silver nanoparticle synthesis routes*, „Environmental Science: Nano” 2015, 2, 4, 361–369, <https://doi.org/10.1039/C5EN00075K>.
- [14] Fubini B., Ghiazza M., Fenoglio I., *Physico-chemical features of engineered nanoparticles relevant to their toxicity*, „Nanotoxicology” 2010, 4, 347–363, <https://doi.org/10.3109/17435390.2010.509519>.
- [15] Sajid M., Ilyas M., Basheer C., Tariq M., Daud M., Baig N., Shehzad F., *Impact of nanoparticles on human and environment: review of toxicity factors, exposures, control strategies, and future prospects*, „Environmental Science and Pollution Research” 2014, 22, 6, 4122–4143, <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3994-1>.
- [16] Bourdineaud J. P., Štambuk A., Šrut M., Radić Brkanac S., Ivanković D., Lisjak D., Sauerborn Klobučar R., Dragun Z., Bačić N., Klobučar, G. I. V., *Gold and silver nanoparticles effects to the earthworm Eisenia fetida – the importance of tissue over soil concentrations*, „Drug and Chemical

- Toxicology" 2019, 1–18, <https://doi.org/10.1080/01480545.2019.1567757>.
- [17] Sánchez-López K. B., De los Santos-Ramos F.J., Gómez-Acata E.S., Luna-Guido M., Navarro-Noya Y. E., Fernández-Luqueño F., Dendooven L., *TiO₂ nanoparticles affect the bacterial community structure and Eisenia fetida (Savigny, 1826) in an arable soil*, „PeerJ" 2019, 7, 6939, <https://doi.org/10.7717/peerj.6939>.
- [18] Miller R. J., Lenihan H. S., Muller E. B., Tseng N., Hanna S. K., Keller A. A., *Impacts of metal oxide nanoparticles on marine phytoplankton*, „Environmental Science & Technology" 2010, 44, 7329–7334, <https://doi.org/10.1021/es100247x>.
- [19] Haque E., Ward A., Zebrafish as a Model to Evaluate Nanoparticle Toxicity, „Nanomaterials" 2018, 8, 7, <https://doi.org/10.3390/nano8070561>.
- [20] Ivask A., Juganson K., Bondarenko O., Mortimer M., Aruoja V., Kasemets K., Blinova I., Heinlaan M., Slaveykova V., Kahru A., *Mechanisms of toxic action of Ag, ZnO and CuO nanoparticles to selected ecotoxicological test organisms and mammalian cells in vitro: A comparative review*, „Nanotoxicology" 2014, 8, 57–71, <https://doi.org/10.3109/17435390.2013.855831>.
- [21] Song G., Ho W., Gao Y., Wang Y., Lin L, Zhang Z., Niu Q., Ma R., Mu L. Wang H., *Effects of CuO nanoparticles on Lemna minor*, „Botanical Studies" 2016, 57, 1, <https://doi.org/10.1186/s40529-016-0118-x>.
- [22] Belava V. N., Panyuta O. O., Yakovleva G. M., Pysmenna Y. M., Volkogon M. V., *The Effect of Silver and Copper Nanoparticles on the Wheat-Pseudocercospora herpotrichoides Pathosystem*, „Nanoscale Research Letters" 2017, 12, 1, <https://doi.org/10.1186/s11671-017-2028-6>.
- [23] Kelley M., Current K. M., Dissanayake N. M., Obare S. O., *Effect of Iron Oxide Nanoparticles and Amoxicillin on Bacterial Growth in the Presence of Dissolved Organic Carbon*, „Biomedicines" 2017, 5, 3, <https://doi.org/10.3390/biomedicines5030055>.
- [24] Khan M. S., Qureshi N. A., Jabeen F., *Assessment of toxicity in fresh water fish Labeo rohita treated with silver nanoparticles*, „Applied Nanoscience" 2017, 7, 167–179, <https://doi.org/10.1007/s13204-017-0559-x>.
- [25] Sukhanova A., Bozrova S., Sokolov P., Berestovoy M., Karaulov A., Nabiev I., *Dependence of Nanoparticle Toxicity on Their Physical and Chemical Properties*, „Nanoscale research letters" 2018, 13, 1, <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2457-x>.
- [26] Buzea C, Pachec I. I., Robbie K., *Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity*, „Biointerphases" 2007, 2, 4, 17–71, <https://doi.org/10.1116/1.2815690>.
- [27] Christian P., Von der Kammer F., Baalousha M., Hofmann T., *Nanoparticles: structure, properties, preparation and behavior in environmental media*, „Ecotoxicology" 2008, 17, 326–343, <https://doi.org/10.1007/s10646-008-0213-1>.
- [28] Ge L., Li Q., Wang M., Ouyang J., Li X., Xing M.M.Q., *Nanosilver particles in medical applications: synthesis, performance, and toxicity*, „International Journal Nanomedicine" 2014, 9, 2399–2407, <https://doi.org/10.2147/IJN.S55015>.
- [29] Zou J., Hannula M., Misra S., Feng H., Labrador R., Aula A. S., Hyttinen J., Pyykkö I., *Micro CT visualization of silver nanoparticles in the middle and inner ear of rat and transportation pathway after transtympanic injection*, „Journal of Nanobiotechnology" 2015, 13, 1, <https://doi.org/10.1186/s12951-015-0065-9>.
- [30] Farooq M. U., Novosad V., Rozhkova E. A., Wali H., Ali A., Fateh A. A., Neogi P. B., Wang Z., *Gold Nanoparticles-enabled Efficient Dual Delivery of Anticancer Therapeutics to HeLa Cells*, „Scientific Reports" 2018, 8, 1, <https://doi.org/10.1038/s41598-018-21331-y>.
- [31] Sun C., Li Y., Li Z., Su Q., Wang Y., Liu, X., *Durable and Washable Antibacterial Copper Nanoparticles Bridged by Surface Grafting Polymer Brushes on Cotton and Polymeric Materials*, „Journal of Nanomaterials" 2018, 1–7, <https://doi.org/10.1155/2018/6546193>.
- [32] Ingle A. P., Duran N., Rai M., *Bioactivity, mechanism of action, and cytotoxicity of copper-based nanoparticles: A review*, „Applied Microbiology and Biotechnology" 2013, 98, 3, 1001–1009, <https://doi.org/10.1007/s00253-013-5422-8>.
- [33] Jiang J., Pi J., Cai J., *The Advancing of Zinc Oxide Nanoparticles for Biomedical Applications*, „Bioinorganic Chemistry and Applications" 2018, 1–18, <https://doi.org/10.1155/2018/1062562>.
- [34] Jin S. E., Jin J. E., Hwang W., Hong S. W., *Photocatalytic antibacterial application of zinc oxide nanoparticles and self-assembled networks under dual UV irradiation for enhanced disinfection*, „International Journal of Nanomedicine" 2018, 14, 1737–1751, <https://doi.org/10.2147/IJN.S192277>.
- [35] Barui A. K., Kotcherlakota R., Patra C. R., *Biomedical applications of zinc oxide nanoparticles*, „Inorganic Frameworks as Smart Nanomedicines" 2018, 239–278, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813661-4.00006-7>.
- [36] Mishra P. K., Mishra H., Ekielski A., Talegaonkar S., Vaidya B., *Zinc oxide nanoparticles: a promising nanomaterial for biomedical applications*, „Drug Discovery Today" 2017, 22, 12, 1825–1834, <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2017.08.006>.
- [37] Rabajczyk A., El Yamani N., Dusinska M., *The effect of time on the stability of iron oxide nanoparticles in environmental acids*, „Water Environment Research" 2017, 89, 5, 416–423, <https://doi.org/10.2175/106143016X14609975747685>.
- [38] Çeşmeli S., Biray Avci C., *Application of Titanium Dioxide (TiO₂) Nanoparticles in Cancer Therapies*, „Journal of Drug Targeting" 2019, 1–13, <https://doi.org/10.1080/1061186X.2018.1527338>.
- [39] Gajbhiye S., Sakharwade S., *Silver Nanoparticles in Cosmetics*, „Journal of Cosmetics, Dermatological Sciences and Applications" 2016, 6, 48–53, <https://doi.org/10.4236/jcdsa.2016.61007>.
- [40] Lu P. J., Huang S. C., Chen Y. P., Chiueh L. C., Shih D. Y. C., *Analysis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in cosmetics*, „Journal of Food and Drug Analysis" 2015, 23, 3, 587–594, <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.02.009>.

- [41] Lu P. J., Huang S. C., Chen Y. P., Chiueh L. C., Shih D. Y. C., *Analysis of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles in cosmetics*, „Journal of Food and Drug Analysis” 2015, 23, 3, 587–594, <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2015.02.009>.
- [42] Dréno B., Alexis A., Chuberre B., Marinovich M., *Safety of titanium dioxide nanoparticles in cosmetics*, „Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology” 2019, 33, S7, 34–46, <https://doi.org/10.1111/jdv.15943>.
- [43] Hoffmann T., Amaral Peters D., Angioletti B., Bertoli S., Peres Vieira L., Ratto Reiter M.G., Krebs De Souza C., *Potentials Nanocomposites in Food Packaging*, „Chemical Engineering Transactions” 2019, 75, 253–258.
- [44] Huang Y., Mei L., Chen X., Wang Q., *Recent Developments in Food Packaging Based on Nanomaterials*, „Nanomaterials” 2018, 8, 10, <https://doi.org/10.3390/nano8100830>.
- [45] Peters R. J. B., van Bommel G., Herrera-Rivera Z., Helsper H. P. F. G., Marvin H. J. P., Weigel S., Tromp P. C., Oomen A. G., Bouwmeester, H., *Characterization of Titanium Dioxide Nanoparticles in Food Products: Analytical Methods To Define Nanoparticles*, „Journal of Agricultural and Food Chemistry” 2014, 62, 27, 6285–6293, <https://doi.org/10.1021/jf5011885>.
- [46] Espitia P. J. P., Otoni C. G., Soares N. F. F., *Zinc Oxide Nanoparticles for Food Packaging Applications*, „Antimicrobial Food Packaging” 2016, 425–431, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800723-5.00034-6>.
- [47] Giannossa L. C., Longano D., Ditaranto N., Nitti M. A., Paladini F., Pollini, M., Rai M., Sannino A., Valentini A., Cioffi, N., *Metal nanoantimicrobials for textile applications*, „Nanotechnology Reviews” 2013, 2, 3, <https://doi.org/10.1515/ntrev-2013-0004>.
- [48] Uddin M. J., Cesano F., Scarano D., Bonino F., Agostini G., Spoto G., Bordiga S., Zecchina, A., *Cotton textile fibres coated by Au/TiO₂ films: Synthesis, characterization and self cleaning properties*, „Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry” 2008, 199, 1, 64–72, <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2008.05.004>.
- [49] El-Nahhal I. M., Zourab S. M., Kodeh F. S., Selmane M., Genois I., Babonneau F., *Nanostructured copper oxide-cotton fibers: synthesis, characterization, and applications*, „International Nano Letters” 2012, 2, <https://doi.org/10.1186/2228-5326-2-14>.
- [50] Verbič A., Gorjanc M., Simončič B., *Zinc Oxide for Functional Textile Coatings: Recent Advances*, „Coatings” 2019, 9, 9, <https://doi.org/10.3390/coatings9090550>.
- [51] Guerra F., Attia M., Whitehead D., Alexis F., *Nanotechnology for Environmental Remediation: Materials and Applications*, „Molecules” 2018, 23, 7, <https://doi.org/10.3390/molecules23071760>.
- [52] Amde M., Liu, J. F., Tan Z. Q., Bekana D., *Ionic liquid-based zinc oxide nanofluid for vortex assisted liquid liquid microextraction of inorganic mercury in environmental waters prior to cold vapor atomic fluorescence spectroscopic detection*, *Talanta* 149, 2016, 341–346, <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2015.12.004>.
- [53] Gehrke I., Geiser A., Somborn-Schulz A., *Innovations in nanotechnology for water treatment*, *Nanotechnology, Science and Applications* 1, 2015, <https://doi.org/10.2147/NSA.S43773>.
- [54] Beek W. J. E., Wienk M. M., Janseen R. A. J., *Efficient Hybrid Solar Cells from Zinc Oxide Nanoparticles and a Conjugated Polymer*, *Advanced Mater* 16, 12, 2004, pp. 1009–1013, <https://doi.org/10.1002/adma.200306659>.
- [55] Shweta, Pal K., Thapa K. B., *Synthesis and characterization of ZnO nano-particles for solar cell application by the cost effective co-precipitation method without any surfactants*, *AIP Conference Proceedings* 2142, 1, 2019, <https://doi.org/10.1063/1.5122336>.
- [56] Yuan Z., *Low-temperature growth of well-aligned ZnO nanowire arrays by chemical bath deposition for hybrid solar cell application*, „Journal of Material Science: Material in Electronics” 2014, 25, 5, 2248–2252, <https://doi.org/10.1007/s10854-014-1866-6>.
- [57] Yuan Z., *Synthesis of ZnO nanocrystal by thermal decomposition for inverted polymer solar cell application*, „Journal of Material Science: Material in Electronics” 2015, 26, 3, 1776–1779, <https://doi.org/10.1007/s10854-014-2607-6>.
- [58] Chelladurai K., Rajamanickam M., *Environmentally Benign Neem Biodiesel Synthesis Using Nano-Zn-Mg-Al Hydrotalcite as Solid Base Catalysts*, „Journal of Catalysts” 2014, 1–6, <https://doi.org/10.1155/2014/326575>.
- [59] Kumar R., Al-Dossary O., Kumar G., Umar A., *Zinc Oxide Nanostructures for NO₂ Gas-Sensor Applications: A Review*, „Nano-Micro Letters” 2014, 7, 2, 97–120, <https://doi.org/10.1007/s40820-014-0023-3>.
- [60] Wang Z. L., *Zinc oxide nanostructures: growth, properties and applications*, „Journal of Physics. Condensed Matter” 2004, 16, 25, 829–858, <https://doi.org/10.1088/0953-8984/16/25/R01>.
- [61] Moballeggh A., Shahverdi H. R., Aghababazadeh R., Mirhabibi A., *ZnO nanoparticles obtained by mechanochemical technique and the optical properties*, „Surface Science” 2007, 601, 13, 2850–2854, <https://doi.org/10.1016/j.susc.2006.12.012>.
- [62] Bacaksiz E., Parlak M., Tomakin M., Özçelik A., Karakiz M., Altunbaş M., *The effects of zinc nitrate, zinc acetate and zinc chloride precursors on investigation of structural and optical properties of ZnO thin films*, „Journal of Alloys Compounds” 2008, 466, 1–2, 447–450, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2007.11.061>.
- [63] Segets D., Gradl J., Taylor R. K., Vassilev V., Peukert W., *Analysis of Optical Absorbance Spectra for the Determination of ZnO Nanoparticle Size Distribution, Solubility and Surface Energy*, „ACS Nano” 2009, 3, 7, 1703–1710, <https://doi.org/10.1021/nn900223b>.
- [64] Feng L., Liu A., Liu M., Ma Y., Wei J., Man B., *Fabrication and characterization of tetrapod-like ZnO nanostructures prepared by catalyst-free thermal evaporation*, „Materials Characterization” 2010, 61, 128–133, <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2009.10.011>.
- [65] Huang C. L., Hsiao I. L., Lin H. C., Wang C. F., Huang Y. J., Chuang C. Y., *Silver nanoparticles affect on gene expres-*

- sion of inflammatory and neurodegenerative responses in mouse brain neural cells, „Environmental Research” 2015, 136, 253–263, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2014.11.006>.
- [66] Gupta R., Xie H., *Nanoparticles in Daily Life: Applications, Toxicity and Regulations*, „Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology” 2018, 37, 3, 209–230, <https://doi.org/10.1615/JEnvironPatholToxicolOncol.2018026009>.
- [67] Taylor D. A., *Dust in the wind*, „Environmental Health Perspectives” 2002, 110, 2, A80–A87, <https://doi.org/10.1289/ehp.110-a80>.
- [68] Jeevanandam, J., Barhoum A., Chan S., Dufresne A., Danquah M., *Review on nanoparticles and nanostructured materials: History, sources, toxicity and regulations*, „Beilstein Journal of Nanotechnology” 2018, 9, 1, 1050–1074, <https://doi.org/10.3762/bjnano.9.98>.
- [69] Delay M., Frimmel F. H., *Nanoparticles in aquatic systems*, „Analytical and Bioanalytical Chemistry” 2012, 402, 583–592, <https://doi.org/10.1007/s00216-011-5443-z>.
- [70] Contini C., Schneemilch M., Gaisford S., Quirke N., *Nanoparticle–membrane interactions*, „Journal of Experimental Nanoscience” 2018, 13, 1, 62–81, <https://doi.org/10.1080/17458080.2017.1413253>.
- [71] Manke A., Wang L., Rojanasakul Y., *Mechanisms of Nanoparticle-Induced Oxidative Stress and Toxicity*, „Biomed Research International” 2013, 942916, <https://doi.org/10.1155/2013/942916>.
- [72] Dayem A. A., Hossain M. K., Lee S. B., Kim K., Saha S. K., Yang G. M., Choi H. Y., Cho S.G., *The Role of Reactive Oxygen Species (ROS) in the Biological Activities of Metallic Nanoparticles*, „International Journal of Molecular Sciences” 2017, 18, 1, <https://doi.org/10.3390/ijms18010120>.
- [73] Siddiqi K. S., ur Rahman A., Tajuddin, Husen A., *Properties of Zinc Oxide Nanoparticles and Their Activity Against Microbes*, „Nanoscale Research Letters” 2018, 13, 1, <https://doi.org/10.1186/s11671-018-2532-3>.
- [74] Wang L., Hu Ch., Shao L., *The antimicrobial activity of nanoparticles: present situation and prospects for the future*, „International Journal of Nanomedicine” 2017, 12, 1227–1249, <https://doi.org/10.2147/IJN.S121956>.
- [75] Sirelkhatim A., Mahmud S., Seeni A., Kaus N. H. M., Ann L. Ch., Bakhori S. K. M., Hasan H., Mohamad D., *Review on Zinc Oxide Nanoparticles: Antibacterial Activity and Toxicity Mechanism*, „Nanomicro Letters” 2015, 7, 3, 219–242, <https://doi.org/10.1007/s40820-015-0040-x>.
- [76] Yang E.J., Kim S., Kim J.S., Choi I.H., *Inflammasome formation and IL-1 β release by human blood monocytes in response to silver nanoparticles*, „Biomaterials” 2012, 33, 6858–6867, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2012.06.016>.
- [77] Zhang T., Wang L., Chen Q., Chen Ch., *Cytotoxic Potential of Silver Nanoparticles*, „Yonsei Medical Journal” 2014, 55, 2, 283–291, <https://doi.org/10.3349/ymj.2014.55.2.283>.
- [78] Adams L. K., Lyon D. Y., Alvarez P. J. J. *Comparative ecotoxicity of nanoscale TiO₂, SiO₂, and ZnO water suspensions*, „Water Research” 2006, 40, 3527–3532, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2006.08.004>.
- [79] Fiedot M., Maliszewska I., Rac-Rumijowska O., Suchorska-Woźniak P., Lewińska A., Teterycz H., *The Relationship between the Mechanism of Zinc Oxide Crystallization and Its Antimicrobial Properties for the Surface Modification of Surgical Meshes*, „Materials (Basel)” 2017, 10, 4, <https://doi.org/10.3390/ma10040353>.
- [80] Azam A., Ahmed A. S., Oves M., Khan M. S., Habib S. S., Memic A., *Antimicrobial activity of metal oxide nanoparticles against Gram-positive and Gram-negative bacteria: a comparative study*, „International Journal of Nanomedicine” 2012, 7, <https://doi.org/10.2147/IJN.S35347>.
- [81] Niño-Martínez N., Orozco M. S. S., Martínez-Castañón G. A., Méndez F. T., Ruiz F., *Molecular Mechanisms of Bacterial Resistance to Metal and Metal Oxide Nanoparticles*, „International Journal of Molecular Sciences” 2019, 20, 11, <https://doi.org/10.3390/ijms20112808>.
- [82] Ramesh C., Mohan Kumar K. T., Senthil M., Ragunathan V., *Antibacterial activity of Cr₂O₃ nanoparticles against E. coli; Reduction of chromate ions by Arachis hypogaea leaves*, „Archives of Applied Science Research” 2012, 4, 4, 1894–190.
- [83] Bind V., Kumar A., *Current issue on nanoparticle toxicity to aquatic organism*, „MOJ Toxicology” 2019, 5, 2, 66–67.
- [84] Pramod K. S., Vijayasundaram V., Krishnakumar N., Palaniappan P.I.Rm., *The effect of titanium dioxide exposure on the thermal properties of Zebrafish (Danio rerio) bones*, „Journal of Thermal Analysis and Calorimetry” 2012, 108, 1, 133–139, <https://doi.org/10.1007/s10973-011-1774-4>.
- [85] Zhang J., Guo W., Li Q., Wang Z., Liu S., *The effects and the potential mechanism of environmental transformation of metal nanoparticles on their toxicity in organisms*, „Environmental Science: Nano” 2018, 5, 11, 2482–2499, <https://doi.org/10.1039/C8EN00688A>.
- [86] Lacave J. M., Vicario-Parés U., Bilbao E., Gilliland D., Mura F., Dini L., Cajaraville M. P., Orbea A., *Waterborne exposure of adult zebrafish to silver nanoparticles and to ionic silver results in differential silver accumulation and effects at cellular and molecular levels*, „Science of The Total Environment” 2018, 642, 1209–1220, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.128>.
- [87] Griffitt R. J., Luo J., Gao J., Bonzongo J. C., Barber D. S., *Effects of particle composition and species on toxicity of metallic nanomaterials in aquatic organisms*, „Environmental Toxicology and Chemistry” 2008, 27, 9, <https://doi.org/10.1897/08-002.1>.
- [88] Lekamge S., Miranda A. F., Abraham A., Li V., Shukla R., Bansal V., Nuggeoda D., *The Toxicity of Silver Nanoparticles (AgNPs) to Three Freshwater Invertebrates With Different Life Strategies: Hydra vulgaris, Daphnia carinata, and Paratya australiensis*, „Frontiers in Environmental Science” 2018, 6, 1–13, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2018.00152>.
- [89] Zhang Z., Yang X., Shen M., Yin Y., Liu J., *Sunlight-driven reduction of silver ion to silver nanoparticle by organic matter mitigates the acute toxicity of silver to Daphnia magna*,

- „Journal of Environmental Sciences” 2015, 35, 62–68, <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.03.007>.
- [90] Gosteva I., Morgalev Y., Morgaleva T., Morgalev S., *Effect of Al₂O₃ and TiO₂ nanoparticles on aquatic organisms*, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 98, 2015, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/98/1/012007>.
- [91] Borase H. P., Muley A. B., Patil S. V., Singhal R. S., *Nano-eco toxicity study of gold nanoparticles on less explored aquatic organism Moina macrocopa: enzymatic biomarkers and bioaccumulation perspective*, „Environmental Toxicology and Pharmacology” 2019, 68, 4–12, <https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.02.013>.
- [92] Dabrunz A., Duester L., Prasse C., Seitz F., Rosenfeldt R., Schilde C., Schaumann G.E., Schulz R., *Biological Surface Coating and Molting Inhibition as Mechanisms of TiO₂ Nanoparticle Toxicity in Daphnia magna*, PLoS ONE 6, 2011, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0020112>.
- [93] Aruoja V., Pokhrel S., Sihtmäe M., Mortimer M., Mädlar L., Kahru A., *Toxicity of 12 metal-based nanoparticles to algae, bacteria and protozoa*, „Environmental Science Nano” 2015, 6, <https://doi.org/10.1039/C5EN00057B>.
- [94] Heinlaan M., Ivask A., Blinova I., Dubourguier H.C., Kahru A., *Toxicity of nanosized and bulk ZnO, CuO and TiO₂ to bacteria Vibrio fischeri and crustaceans Daphnia magna and Thamnocephalus platyurus*, „Chemosphere” 2008, 71, 7, 1308–1316, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2007.11.047>.
- [95] Aruoja V., Dubourguier H.C., Kasemets K., Kahru A., *Toxicity of nanoparticles of CuO, ZnO and TiO₂ to microalgae Pseudokirchneriella subcapitata*, „Science of the Total Environment” 2009, 407, 4, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2008.10.053>.
- [96] Sovová T., Kocí V., Kochánková L., *Ecotoxicity of nano and bulk forms of metal oxides*, Conference: 1st NANOCON International Conference, At: Rožnov p. Radhoštěm, Czech Republic, 2009.
- [97] Mortimer M., Kasemets K., Kahru A., *Toxicity of ZnO and CuO nanoparticles to ciliated protozoa Tetrahymena thermophila*, „Toxicology” 2009, 269, 2-3, 182–189, <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.07.007>.
- [98] Kovřížnych J. S., Sotníková R., Zeljenková D., Rollerová E., Szabová E., *Long-term (30 days) toxicity of NiO nanoparticles for adult zebrafish Danio rerio*, „Interdisciplinary Toxicology” 2014, 7, 1, 23–26, <https://doi.org/10.2478/intox-2014-0004>.
- [99] Lopes S., Ribeiro F., Wojnarowicz J., Łojkowski W., Jurkschat K., Crossley A., Soares A.M.V.M., Loureiro S., *Zinc oxide nanoparticles toxicity to Daphnia magna: size-dependent effects and dissolution*, „Environmental Toxicology and Chemistry” 2014, 33, 190–198, <https://doi.org/10.1002/etc.2413>.
- [100] Hartmann N.B., Von der Kammer F., Hofmann T., Baalousha M., Ottoufelling S., Baun A. *Algal testing of titanium dioxide nanoparticles--testing considerations, inhibitory effects and modification of cadmium bioavailability*, „Toxicology” 2010, 269, 2-3, 190-197, <https://doi.org/10.1016/j.tox.2009.08.008>.
- [10] Dalai S., Pakrashi S., Chandrasekaran N., Mukherjee A., *Acute Toxicity of TiO₂ Nanoparticles to Ceriodaphnia dubia under Visible Light and Dark Conditions in a Freshwater System*, PLoS One 8, 4, 2013, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062970>.
- [102] Artells E., Issartel J., Auffan M., Borschneck D., Thill A., Tella M., Brousset L., Rose J., Bottero J.Y., Thiéry A., *Exposure to Cerium Dioxide Nanoparticles Differently Affect Swimming Performance and Survival in Two Daphnid Species*, PLoS One 8, 8, 2013, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071260>.
- [103] Pelletier D. A., Suresh A. K., Holton G. A., McKeown C. K., Wang W., Gu B., Mortensen N. P., Allison D. P., Joy D. C., Allison M. R., Brown S. D., Phelps T. J., Doktycz, M. J., *Effects of Engineered Cerium Oxide Nanoparticles on Bacterial Growth and Viability*, „Applied and Environmental Microbiology” 2010, 76, 24, 7981–7989, <https://doi.org/10.1128/AEM.00650-10>.
- [104] Thill A., Zeyons O., Spalla O., Chauvat F., Rose J., Auffan M., Flank A. M., *Cytotoxicity of CeO₂ nanoparticles for Escherichia coli. physico-chemical insight of the cytotoxicity mechanism*, „Environmental Science & Technology” 2006, 40, 6151–6156, <https://doi.org/10.1021/es060999b>.
- [105] Rodea-Palomares I., Boltes K., Fernández-Piñas F., Leganés F., García-Calvo E., Santiago J., Rosal R., *Physicochemical Characterization and Ecotoxicological Assessment of CeO₂ Nanoparticles Using Two Aquatic Microorganisms*, „Toxicological Sciences” 2011, 119, 1, 135–145, <https://doi.org/10.1093/toxsci/kfq311>.
- [106] Rogers N. J., Franklin N. M., Apte S. A., Batley G. E., Angel B. M., Lead J. R., Baalousha M., *Physico-chemical behaviour and algal toxicity of nanoparticulate CeO₂ in freshwater*, „Environmental Chemistry” 2010, 7, 50–60, <https://doi.org/10.1071/EN09123>.
- [107] Van Hoecke K., Quik J. T., Mankiewicz-Boczek J., De Schamphelaere K. A., Elsaesser A., Van der Meeren P., Barnes C., McKerr G., Howard C. V., Van de Meent D., Rydzynski K., Dawson K. A., Salvati A., Lesniak A., Lynch I., Silversmit G., De Samber B., Vincze L., Janssen C.R., *Fate and effects of CeO₂ nanoparticles in aquatic ecotoxicity tests*, „Environmental Science & Technology” 2009, 43, 12, 4537–4546, <https://doi.org/10.1021/es9002444>.
- [108] Zhang H., He X., Zhang Z., Zhang P., Li Y., Ma Y., Kuang Y., Zhao Y., Chai Z., *Nano-CeO₂ exhibits adverse effects at environmental relevant concentrations*, „Environmental Science & Technology” 2011, 45, 8, 3725–3730, <https://doi.org/10.1021/es103309n>.
- [109] Garaud M., Auffan M., Devin S., Felten V., Pagnout Ch., Pain-Devin S., Proux O., Rodius F., Sohm B., Giamberini L., *Integrated assessment of ceria nanoparticle impacts on the freshwater bivalve Dreissena polymorpha*, „Nanotoxicology” 2016, 10, 7, 935–944, <https://doi.org/10.3109/17435390.2016.1146363>.
- [110] Conway J. R., Hanna S. K., Lenihan H. S., Keller A. A., *Effects and implications of trophic transfer and accumulation of CeO₂ nanoparticles in a marine mussel*, „Environmental Science & Technology” 2014, 48, 1517–1524, <https://doi.org/10.1021/es404549u>.

- [111] Johnston B. D., Scown T. M., Moger J., Cumberland S. A., Baalousha M., Linge K., vanAerle R., Jarvis K., Lead J. R., Tyler C. R. *Bioavailability of nanoscale metal oxides TiO₂, CeO₂, and ZnO to fish*, „Environmental Science & Technology” 2010, 44, 1144–1151, <https://doi.org/10.1021/es901971a>.
- [112] Stanley J. K., Coleman J. G., Weiss C. A. Jr, Steevens J. A., *Sediment toxicity and bioaccumulation of nano and micron-sized aluminum oxide*, „Environmental Toxicology and Chemistry” 2010, 29, 2, 422–429, <https://doi.org/10.1002/etc.52>.
- [113] Minaeian S., Shahverdi A. R., Nohi A. S., Shahverdi H. R., *Extracellular biosynthesis of silver nanoparticles by some bacteria*, „JSIAU” 2008, 17, 66, 1–4.
- [114] Das V. L., Thomas R., Varghese R. T., Soniya E. V., Mathew J., Radhakrishnan E. K., *Extracellular synthesis of silver nanoparticles by the Bacillus strain CS 11 isolated from industrialized area*, „3 Biotech” 2013, 4, 2, 121–126, <https://doi.org/10.1007/s13205-013-0130-8>.
- [115] Joerger R., Klaus T., Granqvist C.G., *Biologically produced silver-carbon composite materials for optical-ly functional thin film coatings*, „Advanced Materials” 2010, 12, 407–409, [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-4095\(200003\)12:6<407::AID-ADMA407>3.0.CO;2-O](https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-4095(200003)12:6<407::AID-ADMA407>3.0.CO;2-O).
- [116] Nair B., Pradeep T., *Coalescence of nano-clusters and formation of submicron crystallites assisted by Lactobacillus strains*, „Cryst Growth Design” 2002, 2, 293–298, <https://doi.org/10.1021/cg0255164>.
- [117] Shahverdi A. R., Minaeian S., Shahverdi H. R., Jamalifar H., Nohi A. A., *Rapid synthesis of silver nanoparticles using culture supernatants of Enterobacteria: a novel biological approach*, „Process Biochemistry” 2007, 42, 919–923, <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.02.005>.
- [118] Sinha S., Pan I., Chanda P., Sen S. K., *Nanoparticles fabrication using ambient biological resources*, „Journal of Applied Biosciences” 2009, 19, 1113–1130.
- [119] Rather M. A., Bhat I. A., Sharma N., Sharma R., *Molecular and Cellular Toxicology of Nanomaterials with Related to Aquatic Organisms*, „Advances in Experimental Medicine and Biology” 2018, 1048, 263–284, https://doi.org/10.1007/978-3-319-72041-8_16.

ILONA TOMCZYK-WYDRYCH, M.SC. – she graduated from the Jan Kochanowski University in Kielce in the field of Environmental Protection with a specialization in environmental monitoring and environmental management. Employee of State Water Holding Polish Waters. Scientific interests focus on the migration of metal and metal oxides nanoparticles in the aquatic environment and their interaction with compounds present in surface waters.

ANNA RABAJCZYK, D.SC. – Associate Professor at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute. She graduated from WSP in Kielce. Doctorate in chemistry at the University of Opole. Habilitation in environmental engineering at the Wrocław University of Technology. Environmental auditor. She has extensive scientific and didactic experience, and deals with issues to environmental engineering, nanotechnology, biotechnology as well as chemical transformation and environmental threats. She is an expert in national and international institutions (including NCBR, EC, The European Education and Training Expert Panel). She completed numerous both domestic and foreign internships and scholarships, she was a member in many scientific and organizational committees of both domestic and foreign conferences.

MGR ILONA TOMCZYK-WYDRYCH – Absolwentka Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach, kierunek ochrona środowiska o specjalności monitoring środowiska oraz zarządzanie środowiskowe. Pracownik Państwowego Gospodarstwa Wodnego Wody Polskie. Zainteresowania naukowe koncentrują się na migracji nanocząstek metali i tlenków metali w środowisku wodnym oraz ich interakcji z innymi związkami obecnymi w wodach powierzchniowych.

DR HAB. ANNA RABAJCZYK – profesor Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpowarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowego Instytutu Badawczego. Absolwent WSP w Kielcach, kierunek chemia. Doktorat z chemii na Uniwersytecie Opolskim. Habilitacja z inżynierii środowiska na Politechnice Wrocławskiej. Auditor środowiskowy. Posiada bogate doświadczenie naukowe i dydaktyczne. Zajmuje się zagadnieniami inżynierii środowiska, nanotechnologii, biotechnologii oraz transformacji chemicznej i zagrożeń środowiskowych. Pełni rolę eksperta w krajowych i międzynarodowych instytucjach (m.in. NCBR, EC, The European Education and Training Expert Panel). Odyła liczne staże i stypendia krajowe i zagraniczne, była członkiem w wielu komitetach naukowych i organizacyjnych konferencji zarówno krajowych, jak i zagranicznych.



CNBOP-PIB

TWÓJ PARTNER W
BEZPIECZEŃSTWIE

jednostka notyfikowana
Komisji Europejskiej
w zakresie rozarządzania
305/2011 (CPR)

laboratoria badawcze
akredytowane
przez Polskie Centrum
Akredytacji

jednostka upoważniona do
wydawania europejskich
i krajowych ocen
technicznych

ponad **45** lat doświadczenia

Działamy na rzecz zapewnienia bezpieczeństwa powszechnego państwa w zakresie ochrony przeciwpożarowej, zarządzania kryzysowego, ochrony ludności i obrony cywilnej.

Oferta usług

- dopuszczenie wyrobów użytkowanych w ochronie przeciwpożarowej
- certyfikacja europejska i krajowa wyrobów budowlanych
- certyfikacja dobrowolna wyrobów do ochrony przeciwpożarowej
- certyfikacja podmiotów świadczących usługi w ochronie przeciwpożarowej
- europejskie i krajowe oceny techniczne
- opinie i ekspertyzy techniczne
- testowanie wyrobów innowacyjnych
- badania:
 - sprzętu oraz wyposażenia jednostek ochrony ppoż.
 - stałych urządzeń gaśniczych
 - chemiczne i pożarowe
 - procesów spalania i wybuchowości
 - systemów i automatyki przeciwpożarowej
- szkolenia z zakresu ochrony przeciwpożarowej

CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE OCHRONY PRZECIWPÓŻAROWEJ

im. Józefa Tuliszewskiego

PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów | tel. +48 22 769 32 73 | cnbop@cnbop.pl | www.cnbop.pl

Mariusz Nepelski^{a)*}, Jarosław Struniawski^{b)}

^{a)} *The Main School of Fire Service / Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

^{b)} *Police Academy in Szczytno / Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: mariusznepelski@gmail.com*

A Simulator Supporting the Training of Police Officers who Process Traffic Incident Scenes

Symulator wspomagający szkolenie funkcjonariuszy Policji w zakresie realizacji działań w miejscu wypadku drogowego

ABSTRACT

Aim: A simulator supporting the training of police officers who process traffic incident scenes is a tool with which we will be able to train traffic police officers in processing traffic incident scenes. The essence of the research and development project presented in this article is providing the trainee with a simulated experience of being at both typical and unusual traffic incident scenes, including those involving mass-casualty incidents, major traffic accidents, or other crisis situations. The simulator will connect the virtual world with the real world, taking the trained person into the virtual world (visualisation of the scene), and allowing he or she to process the scene (visual inspection of the scene, producing reports, providing first aid to victims, etc.). Currently, there are no comprehensive solutions supporting the training process in the proposed way. The implementation of such a tool in the Police training system will allow to improve the quality of traffic-police training, and increase the effectiveness of scene processing.

Methodology: The review was prepared on the basis of project documentation and current statistical data on traffic incidents, and selected literature on the subject. We analysed traffic incidents in the last ten years, with particular attention devoted to the number of fatalities and the number of traffic incidents. We demonstrated the complexity of the processing effort by Police officers at the scene, as well as the need to use new technologies for the purposes of training policemen, including in particular simulation systems.

Conclusions: The article addresses one of the most important tasks of the Police – which is ensuring road safety – by proving the need to use training simulators in training traffic policemen. By commissioning the construction of the simulator described in the article, the Police confirmed the need to develop the training space using the described tool. Based on the synthetic review of project documentation, we were able to confirm that the implementation of the simulator in the Police education system would allow to improve the quality of training traffic police officers, and could have a positive impact on their work environment.

Training people with the use of simulation systems eliminates property damage, and reduces the risk of loss of life and health.

Keywords: safety, Police, traffic incident, road collision, visual inspection, simulator

Type of article: original scientific article

Received: 07.11.2019; **Reviewed:** 16.12.2019; **Accepted:** 19.12.2019;

Authors' ORCID IDs: Mariusz Nepelski – 0000-0002-4183-8809; Jarosław Struniawski – 0000-0001-9671-2317;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 90–97, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.6>;

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

ABSTRAKT

Cel: Symulator wspomagający szkolenie funkcjonariuszy Policji w zakresie realizacji działań w miejscu wypadku drogowego to narzędzie, dzięki któremu będzie możliwe przygotowanie funkcjonariuszy Policji do wykonywania czynności na miejscu zdarzenia drogowego. Istotą projektu badawczo-rozwojowego przedstawionego w artykule jest możliwość „przeniesienia” osoby szkolonej do miejsca typowego i nietypowego wypadku drogowego, takiego jak masowe wypadki komunikacyjne, katastrofy w ruchu lądowym lub inne sytuacje kryzysowe. Symulator połączy świat wirtualny ze światem rzeczywistym, tj. umożliwi przeniesienie szkolonej osoby do świata wirtualnego (wizualizacja miejsca zdarzenia), umożliwiając jednocześnie wykonywanie czynności w miejscu zdarzenia (inspekcja wizualna miejsca zdarzenia, opracowanie dokumentacji z przeprowadzonych czynności, udzielanie pierwszej pomocy ofiarom wypadku drogowego, itp.). Obecnie nie ma kompleksowych rozwiązań wspierających proces szkolenia w proponowany sposób. Implementacja takiego narzędzia do systemu szkolenia Policji pozwoli na podniesienie poziomu i jakości szkolenia funkcjonariuszy policji drogowej oraz zwiększenie efektywności działań podejmowanych na miejscu zdarzenia drogowego.

Projekt i metody: Artykuł został przygotowany na podstawie dokumentacji projektu i aktualnych danych statystycznych dotyczących wypadków drogowych oraz wybranej literatury przedmiotu. Przeanalizowano wypadki drogowe w ciągu ostatnich dziesięciu lat, ze szczególnym uwzględnieniem

liczby ofiar śmiertelnych i liczby wypadków drogowych. Wykazano złożoność działań podejmowanych przez funkcjonariuszy Policji w miejscu zdarzenia drogowego, a także potrzebę zastosowania nowych technologii – zwłaszcza systemów symulacyjnych w procesie szkolenia policjantów.

Wnioski: W artykule autorzy odwołują się do jednego z najważniejszych działań Policji, jakim jest bezpieczeństwo ruchu drogowego, dowodząc konieczności użycia symulatorów szkoleniowych w szkoleniu policjantów ruchu drogowego. Policja, przyjmując rolę gestora i ubiegając się o budowę symulatora opisanego w artykule, potwierdziła potrzebę opracowania przestrzeni szkoleniowej przy użyciu wspomnianego narzędzia. Na podstawie syntetycznego przeglądu dokumentacji projektowej potwierdzono, że wdrożenie symulatora w systemie edukacji Policji pozwoli poprawić jakość szkolenia funkcjonariuszy policji drogowej i może pozytywnie wpłynąć na środowisko pracy tej formacji.

Słowa kluczowe: policja, ochrona, kontrola wzrokowa, wypadek drogowy, kolizja drogowa

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 07.11.2019; **Zrecenzowany:** 16.12.2019; **Zaakceptowany:** 19.12.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: Mariusz Nepelski – 0000-0002-4183-8809; Jarosław Struniawski – 0000-0001-9671-2317;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 90–97, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.6>

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

Introduction

In the 21st century transport and mobility play an important role in people's lives. Modern society is characterised by increasing mobility. However, the systematic increase in the number of motor vehicles inevitably leads to a large number of traffic incidents [1–2], resulting in casualties, including fatalities, because each traffic participant is exposed to a potential danger [3–4].

Due to economic development, Poland and most other European countries suffer enormous social and economic losses.

Although various measures taken to improve road safety – such as the improvement of road infrastructure, the tightening of road traffic regulations, organisational and educational

efforts – have resulted in fewer accidents and casualties, the number of traffic incidents in Poland is still large [5] (in comparison to corresponding statistics in other European countries). The problem of the road traffic accident rate has grown into an epidemic – today, it is one of the most important issues of public safety policy [6]. The analysis of the state of road safety shows [7] that despite numerous public awareness campaigns and modernised safety systems, Polish roads are still not among the safest [8]. The gravity of the problem continues to be underestimated, and the adopted principle of dispersed collective responsibility results in a low effectiveness of institutional efforts [9].

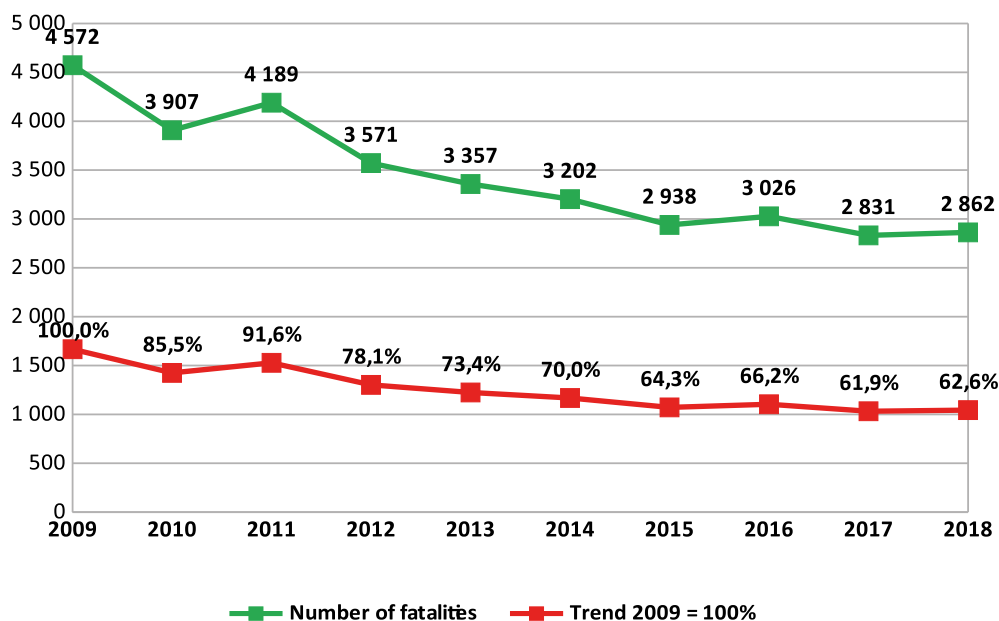


Figure 1. The number of fatalities in Poland in the years 2009–2018

Source: Statistics of the National Police Headquarters.

Characteristics of traffic incidents

From a practical point of view, the statutory statistical classification of traffic incidents into accidents (Article 177 of the Polish Criminal Code (“CC”)) and road collisions (Article 86 of the Polish Code of Petty Offences (“CPO”), Article 98 CPO or 97 CPO in conjunction with Article 39 of the Traffic Law Act) is a proper and desirable solution, as it enables their proper recording [3] and the evaluation of effectiveness of preventive measures. Article 173(1) of the CC also defines the characteristics of the offence of a major traffic accident. It should be noted that the result of such an accident is a threat to the life or health of many people, or to property of large sizes, and includes train collisions, where several people are killed and several dozen injured. In turn, police regulations [10] define a road traffic accident as a traffic accident resulting in a person being killed or injured.

Road collision, on the other hand, is a traffic incident involving only property damage. This concept differs from the concept of accident in that it involves no casualties, but only property damage, e.g. destruction of a building, vehicle, utility/telephone poles, road furniture (signs, signalling devices, bars or traffic barriers), viaducts, gates, fences and other objects.

The occurrence of a traffic accident is influenced by a set of risk factors that affect the level of road safety [11]. These factors include: people as road users (pedestrians, vehicle drivers and other people in or on a vehicle on the road), roads, vehicles, and traffic and incidental factors.

There is no doubt, however, that the majority of traffic accidents occur as a result of specific behaviours of traffic participants, resulting from their ignorance or disrespect for traffic regulations.

People as the main factor in the road dynamic [1] (drivers of motor vehicles, as well as motorcycles) contribute to accidents mostly by: driving at a speed that is excessive or inappropriate to road conditions; failure to yield the right of way to another vehicle; failure to maintain a safe distance between vehicles (misjudging distances and the vehicle stopping distance); incorrectly performing the overtaking manoeuvre. Failure to give right of way to pedestrians on pedestrian crossings is also a serious problem [12]. Another factors involves the psychomotor state of the driver (e.g. fatigue – a state of the organism which negatively affects the ability to perform work, impairs concentration; an illness). Road safety is also affected by a low level of safety devices usage (failure to wear seatbelts, non-functional air bags, unregulated headrests on the front and rear seats, failure to use child safety seats, failure to mount baby seats in a rear-facing position). The most common offence leading to an accident involves pedestrian intrusion, or crossing the road illegally. A significant problem on Polish roads are intoxicated road users and drivers of vehicles under the influence of other psychoactive substances.

Another element that has a significant impact on road safety are weather conditions. The most important atmospheric phenomena include: rainfall, snowfall, fog, strong and gusty wind, atmospheric temperatures (especially below zero), the location of the sun (driving against the sun) and lighting, the latter being dependent on the time of day and the season. The analysis of traffic accidents shows that the most tragic events occur in good weather conditions on straight sections of the road. Such circumstances increase driving comfort and the drivers develop higher speeds, resulting in more tragic consequences in the case of an accident.

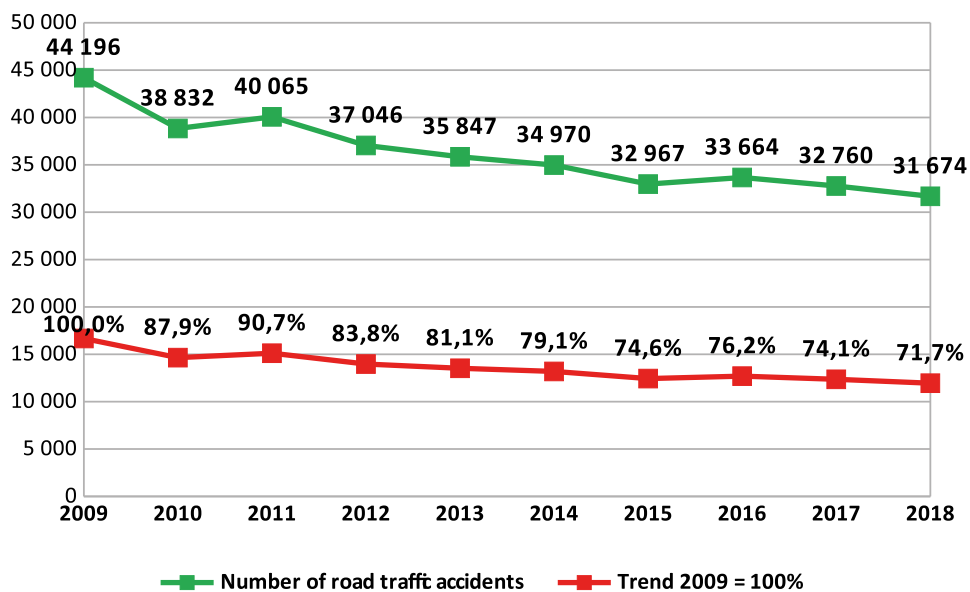


Figure 2. Road traffic accidents in Poland in the years 2009–2018
 Source: Statistics of the National Police Headquarters.

Road safety is also influenced by technical factors, which include a low quality of road infrastructure and poor condition of vehicles.

Police tasks related to handling traffic accidents

Improvement of road safety requires many entities and institutions to conduct multipronged efforts aimed at the systematic improvement of the level of road traffic safety [6]. The main tasks in this area are imposed, among others, on the Police, and focus on: traffic management and control (inspection of the condition of motor vehicles, control of dangerous goods transport, control of compliance with obligations or conditions of road transport, use of measuring and control devices for measuring speed); preventing, combating and conducting proceedings concerning road traffic offences; initiating and coordinating crime prevention programmes and handling traffic accidents.

In the event of a traffic accident, just like in any other case of a breach of public safety and order, and a threat to life, health and property, every police officer who is the first to arrive at the scene of the incident has a duty to intervene. The particular activities of a police officer in this respect are defined in the procedures set out in Ordinance No. 30 of the National Police Commander-in-Chief of 22 September 2017 on performing duties on roads. They indicate the necessity of performing activities including (§ 29.1): securing the scene of the traffic accident in order to avoid another traffic accident, and organising road traffic in the new circumstances; providing first aid to the injured; securing the scene of the traffic accident by protecting forensic evidence from loss or distortion to enable criminal proceedings; determining participants in, and witnesses to, the traffic accident; undertaking a pursuit if the perpetrator of the traffic accident has fled from the scene; determining injuries suffered by the casualties and the place of their hospitalisation.

After the traffic accident service crew (police officers from the organisational unit responsible for road traffic) or the criminal investigation group arrive at the scene, the police officer provides information about the activities performed and the facts established. Then, a visual inspection of the scene, objects and persons involved is performed, and where urgently needed – an external inspection of the corpses. Furthermore, the criminal proceedings are documented through, in particular: an inspection report [13] with a forensic sketch of the scene of the accident to scale, an official memo and a traffic accident card, as well as photographic or video documentation. When taking pictures of the evidence, attention must be paid to the following: traces visible on the road, skid marks, damage to vehicles, broken glass on the road, especially from headlights, broken off fragments of vehicles, and oil, fuel and blood spots. The documentation of all these processing activities should reflect all the facts established at the scene.

The aim of the reconstruction of a traffic accident (collision) is to reconstruct how individual events were related to each other in a sequence. In order to reconstruct these interrelations, all the facts must be gathered and classified as causes or effects.

Causes include all the events occurring before the accident/collision, e.g. the condition of the car, the speed of the car before braking, the type and condition of the pavement, weather conditions, driver's abilities (skills, physical and mental state). Effects include all the events that occurred after the collision, e.g. the degree of injury to car users or pedestrians involved in the collision and the scope of damage to the car. It is also important to determine the time intervals at which the events classified as causes and effects had occurred. These may be events occurring immediately before or after the collision, and events occurring at a bigger time interval from the moment of the collision. Classification according to the time of occurrence and the determination of the interrelations between the two groups of events are very helpful for the reconstruction of the collision and its proper analysis [14].

Training of police officers in processing traffic accident scenes with the use of simulation systems

The Police's efforts to improve road traffic safety, on the one hand, and the number of traffic accidents, on the other, make it necessary to have highly specialised personnel processing the scene of such incidents.

In order to handle the processing effectively and according to the rules and procedures of the Police, the officers must constantly improve their skills. The legal regulations and the techniques and tactics adopted when processing traffic accidents constitute an element of professional training and development courses. Only systematic development allows officers to master the ability to make the right decisions and to perform effective and, most importantly, safe interventions.

Professional development of police officers includes: centralised training – organised by police schools and the Police Academy in Szczytno; local training – organised by organisational units of the Police or their organisational units, and external training – organised by third parties. In the area in question, the Specialist Road Traffic Training Course – General Part [15] (Decision No. 295 of the Chief Commander of the Police, 2018) is the prevailing type of such professional training. The aims of the courses include, among others, acquiring the knowledge and skills which prepare police officers to: make the legal classification of traffic accidents, secure the scene of the traffic accident, characterise forensic evidence which may be found at the scene, perform visual inspection of the scene, perform visual inspection of the vehicle, prepare photographic documentation from the inspection of the scene and vehicle, prepare a sketch and a diagram of the scene, and draw conclusions on the basis of forensic evidence.

Material and methods

Modern road traffic hazards make the Police look for new, alternative training solutions, including those which utilise advanced information technologies. The "Simulator Supporting Training of Police Officers Processing the Scene of a Traffic

Accident” is an example of this. It is connected with the priority set by the Chief Commander of the Police, i.e. to support Police activities aimed at improving road traffic safety.

Due to the high level of detail and a wide range of scenarios and variants adapted to the specific nature of Police operations and tactics, and regulations and procedures applicable in Poland, the proposed system will be able to properly support the process of training and development of officers. The complementary training tool will make it possible to practice, in real-time, handling events that may occur when on duty in actual intervention locations. The aim of training on the simulator will be to efficiently raise and maintain a high level of officers’ skills in developing the right responses in the decision making process when performing a specific task. Such solutions will make it possible to reflect scenarios of real actions taken by one or more police officers (dealing with road traffic) in the virtual world of a computer training system. A very important element of this solution, besides its innovative technical features, are the properly selected scenarios and variants of the course of events, developed from many years of police experience.

Results

The project is expected to provide a “simulator supporting training of police officers in processing the scene of a traffic accident”. The simulator is a tool with which we will be able to train traffic police officers to process the scene of both typical and unusual traffic accidents, such as mass-casualty incidents, major road traffic accidents, or other crisis situations. The simulator will connect the virtual world with the real world, i.e. taking the trained person into the virtual world (visualisation of the scene) while allowing the processing of the scene (visual inspection of the scene, documentation, providing first aid to casualties, etc.).

The simulator will meet the following requirements:

1. It will enable changes of:
 - seasons (summer and winter);
 - time of day (day, night, dawn and dusk);
 - atmospheric conditions (rain or snowfall, icing on road surfaces, as well as haze and smoke with different levels of intensity, wind speed and its direction, etc.).
2. It will contain the necessary elements of road infrastructure, including: various types of road intersections, including intersections with tracks for railway vehicles, grade-separated road junctions, tunnels, bridges, viaducts, railway crossing: tram and railway track crossings (guarded and unguarded), pedestrian crossings, bus stops, parking lots, manoeuvring areas, loading ramps, airports with runways.
3. It will simulate the behaviour of road users, i.e.: drivers of passenger cars, trucks and semi-trailer trucks, special-purpose vehicles, agricultural tractors, buses, tank trucks, privileged vehicles, motorcycles, trams, trains, as well as cyclists, pedestrians, wild animals of various sizes (deer, boar), pets (dogs).
4. It will provide access to plane crash and water traffic accident locations.
5. It will have experimentally validated models of the dynamics of passenger or delivery cars, trucks, buses and tanker vehicles, allowing the simulation of events as close to real conditions as possible, and also their use for research purposes. Such a quality of models is necessary for the system to be treated as a valid training and research tool. It will also allow the reconstruction of the course of events for the purpose of trial and scientific evaluation.
6. It will contain a right-hand traffic system functioning as part of the prepared base area. It will also be possible to simulate left-hand traffic if necessary.
7. It will have a database providing different types of terrain: highly urbanised (city centre), suburban and industrial, high altitude (roads with varying degrees of inclination – steep uphill and downhill roads, switchbacks), motorways, expressways, single and dual carriageways, paved (tarmac) and unpaved roads (dirt). The simulated roads will contain all elements of real roads mapped in accordance with the Public Roads Act of 21 March 1985 (i.e. of 23 August 2016, Journal of Laws of 2016, item 1440), including other road elements (specified in the implementing provisions), such as roadsides, sidewalks, intersections, tracks for railway vehicles, horizontal and vertical signs, and traffic lights, other traffic control elements, etc.
8. It will generate lighting for roads and vehicles.
9. It will enable the processing of the scene of the event with the use of IT, communications and other tools (e.g. to measure the braking distance of the vehicle) actually used by the Police when processing the scene.
10. It will enable documenting the work at the scene using the existing report forms.
11. It will enable providing first aid to traffic accident victims. For this purpose, it will be equipped with a set of rescue and training manikins of the highest quality. They will enable the enactment of individually prepared scenarios, including electrocardiography, and the entire process of management will be conducted remotely using a dedicated application. All two manikins will be able to be supervised by the instructor at the same time. They will generate sounds such as breaths. An advanced evaluation module will be implemented, taking into account the needs resulting from the training of groups of people.
12. It will include an instructor module that allows users to easily create their own traffic accident scenarios and save them without any limitations. It will be possible to prepare them in advance, before starting the training. The trainer will have the opportunity to prepare any sets for any training and in this way set, for instance, various levels of difficulty. It will also enable officers, if necessary, to participate in any number of training sessions, and to implement different training scenarios each time. For the purposes of assessing or recreating real situations,

the trainer will be able to develop scenarios based on any traffic accidents that took place in the past, and develop such a set on the basis of events that will take place in the future. Thanks to this solution the system will never “grow old”, and will always be “in demand”. It will also have a pre-recorded set of predefined road situations, prepared by road traffic experts, so that it can start training without any additional contribution. The trainer will be able to set the starting situation, and its entire course will be simulated by the system using, among others, experimentally validated vehicle models. The trainees will be able to start their work depending on the training plan – i.e. before, during or after the incident. They will be able to issue commands to virtual participants controlled by a simulation system, e.g. issuing orders to event participants to relocate their cars, secure the scene by cooperating with different services, e.g. the State Fire Service or emergency medical services. If they start their simulated work after the traffic accident, after the exercise the instructor will be able to replay it many times, allowing trainees to watch the course of their actions from any perspective. This will allow them to undergo optimum training in road traffic incidents. The same option will also be possible for activities performed by the trainees. The instructor will be able to add any extra and surprising elements during the exercise – for instance, a vehicle that, without maintaining safety rules or due to an improperly secured scene, will pose a threat to officers working at the scene.

13. It will enable the presentation of the environment to the trainees using images displayed with a high quality projection system through 3D goggles. At the same time, it will be also possible to use the projection system on a flat, spherical or cylindrical screen – the most optimal one will be selected on the basis of tests. The systems can be used interchangeably or at the same time at every stage of the preparation, implementation and evaluation of the exercise. This will allow participation by persons who, for various reasons, cannot use goggles. The instructor will be able to additionally observe the course of the events and further activities performed by the practitioners using 3D goggles, on the computer screen or directly on the screen used by the practitioners. The system will be designed to minimise the likelihood of simulator sickness in trainees. It will enable the simulation of all possible road incidents using the indicated terrain database and simulated vehicles and objects, generating incidents and enabling their real-time preview at any stage of the exercise, and visualise the entire environment using 3D computer graphics through an optimal projection system (which will be selected on the basis of tests). Consideration is given to standard systems based on high-quality projectors and cylindrical or spherical screens and image display via goggles that allow viewing the digital world in a 360-degree image. The consortium has extensive experience in developing such systems, so the selected solution will meet

the requirements for optimising the training process. In addition, the trainees will have the opportunity to perform all the actions necessary to secure the scene and to establish how the incident happened. The simulator will support the participant’s assessment process using an automated evaluation system, and will support the subjective assessment process handled directly by the instructor.

The software of the simulation system will be developed in accordance with international HLA (High Level Architecture) standards. This will create in the future the possibility of connecting the computer network of the system under construction with other simulators operating in a shared virtual environment within the interoperability of simulation systems, including the “Integrated simulation platform of crisis management entities” used by the Police in the training process. HLA is a general architecture for distributed computer systems, with particular emphasis on simulation systems. The idea behind HLA is that software applications (computer simulators) can communicate with each other regardless of which platform they have been embedded on. Communication between particular applications is handled by the Runtime Infrastructure (RTI), which plays a similar role to the operating system or virtual machine function. It provides, inter alia: the interoperability of related simulators; the possibility of multiple use simulation system elements; the separation of layers of simulation elements and the layer of auxiliary elements of the environment. HLA uses DIS – Distributed Interface Simulation (a distributed simulation protocol), which is a protocol enabling real-time exercises, defining standard message structures and rules for their exchange (IEEE 1278-1993).

Discussion

Nowhere in the world do such integrated solutions exist. Nevertheless, thanks to the rapidly evolving simulation technology, there are at least several platforms that can be used in similar areas. However, these are partial solutions with limited (in particular in domestic use) applications and functionalities. Among the solutions existing on the market, the following two systems should be mentioned:

1. ADMS by ETC (USA) used by:
 - many crisis management centres (or trainers in this field), including NIFV (Nederlands Instituut Fysieke Veiligheid) – Dutch Institute of Physical Security (formerly NIBRA – Dutch Institute of Fire Security (formerly NIBRA – Dutch Institute of Fire Security and Crisis Management), SERCO (British – International Fire Training Centre, Osceola (USA) – Florida Crisis Management Office;
 - airport emergency services in the USA (including Chicago O’Hare, Minneapolis-St. Paul, Baltimore/Washington, Nashville);
 - counterterrorist units (including Pennsylvania Southeast Region, USA);
 - academies and schools of fire service, including in Warwickshire (UK), Orlando (USA) and Cheonan (South Korea).

2. VBS2 developed by Bohemia Interactive Simulations (Australia) and intended for use by various crisis services, but in practice primarily applicable to military operations and used, among others, by ground armed forces of the USA, Canada, Australia, Great Britain and France.

Among solutions available in Poland, first of all one should mention the Police Simulator of Crisis Situations used by the Police Academy in Szczytno, the Simulator for training supporting command during rescue operations related to fires in multi-story buildings and transport accidents, located in the Main School of Fire Service (both produced as a result of research and development projects financed by the National Centre for Research and Development, by consortium members – WSPol, SGSP and ETC-PZL) and systems supporting land and sea safety management – CZK/CPR simulators produced by Sprint S.A.

The existing standards for the exchange of information between simulators (including HLA or DIS) are generally known and available. However, these standards are primarily intended for flight simulation and do not provide mechanisms to exchange such complex and diverse information as required in the case of the Integrated Platform, and do real-time calculations. Due to the limitations of the HLA standard (primarily the suboptimal, reduced efficiency of information exchange) some simulator manufacturers use their own solutions; however – for understandable reasons – they are not disclosed.

Existing simulators and simulation environments (especially various computer game engines) are focused primarily on the teaching/training of individual operators (the so-called First Person Games), while in the area of such comprehensive training and commanding, no existing solutions are known.

Simulation models of the virtual environment required for the assumed scenarios and controlled by “artificial intelligence” algorithms (e.g. crowd, individual people, forces and units of various services taking part in activities) are not common. A fairly advanced functionality when it comes to the basic scope of requirements is provided by software such as the Presagis AI Implant, VR-Forces and B-HAVE by MÄK, etc. In the field of simulation of forces and units of other services, currently there are no such solutions that meet the set requirements. In imaging there are graphic libraries providing similar imaging (e.g. Vega Prime). However, they will not simulate all effects that are required.

Applicability of the simulator for training officers of the State Fire Service

In addition to training Police officers described in the article, the presented simulator has considerable potential for being used to train other uniformed formations, in particular traffic policemen, forensic technicians, and policemen carrying out patrols and intervention tasks. One of them is the State Fire Service. At this point, it is worth noting that the presented functionalities of the simulator allow its use to train officers of the State Fire Service in at least three training areas.

First, the simulator allows trainees to acquire competencies related to the provision of premedical first aid through a module

containing a set of rescue and training manikins connected to a virtual environment. This type of training will allow users to feel the emotions accompanying rescuers at the scene (through the visualisation of the scene in the virtual world), while enabling physical performance of rescue operations at the site of the incident.

Another training area concerns the ability to behave properly at the scene of a traffic accident, providing the police officer’s perspective. This applies to the ability to see traces, which are important for further procedures related to the forensic examination of the scene, and which allow to reconstruct how the incident happened. The ability to notice these traces is obviously not superior to the duty of saving human life, but such knowledge would help to prevent destroying evidence when processing the scene.

The last training area involves understanding the mechanisms of how a motor vehicle (a car) is damaged during a collision, especially when damage takes place inside it, causing, among others, the victim to be stuck in the vehicle. The ability to simulate the impact of a specific force on a vehicle assigned to specific vehicle speeds is a novelty not found in other training simulators. This competence would allow officers to locate places causing a person to be stuck inside a vehicle faster and more accurately, thereby facilitating their rescue.

Conclusion

At present, no comprehensive solutions exist, both in Poland and in the world, to support the training process in the proposed way. The implementation of such a tool in the Police training system would help to improve the quality of police officer training, and could have a positive impact on their work environment. The simulator should increase the effectiveness of processing traffic incident scenes.

Introducing the simulator to the Police training system will be one of the ways to reduce its costs. Training of people using the simulator eliminates property damage, and reduces the risk of loss of life and health due to actions taken by insufficiently skilled trainees. Another benefit of using the simulator is the possibility of conducting research in order to assess the impact of factors that may affect the quality of handling traffic accidents. The system may be applied in the development and optimisation of universal, model procedures for police officers at the scene of a traffic accident, and will facilitate a more effective use of their potential. The system will be able to support the selection of candidates for individual positions, preventing the widespread practice of random choices which expose the public to lower safety levels. The simulator will allow the assessment of the mental strain accompanying the performance of tasks by the trainees and individual tests verifying their suitability to perform the tasks. Another element contributing to its importance is the possibility to assess the impact of external factors on the speed and quality of officers’ actions in difficult situations. It will also enable professional training of Police intervention officers in handling traffic accidents. Thanks to the applied mathemat-

ical models and simulation methods, the response of the system to the decisions made by the trainees will be immediate and appropriate to the situation. It will enable repeated exercises of various variants, allowing officers to be fully prepared to perform the tasks assigned to them, creating the potential for knowledge and experience in many areas, far exceeding the possibilities of conventional training.

This work was part-funded by the National Centre for Research and Development of Poland under grant DOB-BIO9/06/01/2018. The system is being developed by a consortium of: the Police Academy in Szczytno (Project Leader), the Main School of Fire Service, the Tadeusz Kościuszko Academy of Land Forces, the MORATEX Institute of Safety Technologies and ETC-PZL Aerospace Industries sp. z o.o.

Literature

- [1] Wojtuszek T., *Administracja europejska a bezpieczeństwo w ruchu drogowym*, Bielsko-Biała 2013.
- [2] Petridou E., Moustaki M., *Human factors in the causation of road traffic crashes*, „European Journal of Epidemiology” 2000, 16 (9), 819–826, <https://doi.org/10.1023/A:1007649804201>.
- [3] Jurgielewicz M., Nowakowski Z., Rajchel J., Rajchel K., *Prawne aspekty bezpieczeństwa ruchu drogowego*, Wydawnictwo Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania i Administracji, Warszawa 2011.
- [4] Stefański R.A., *Ustawa Prawo o ruchu drogowym. Komentarz*, Warszawa 2003.
- [5] ETSC Report 2018, <https://www.its.waw.pl/10270,pl,Statystyki-BRD-w-raporcie-ETSC.html>, [dostęp: 08.02.2018].
- [6] Goniewicz M., Goniewicz K., *Wypadki drogowe w Polsce – czynniki sprawcze i zapobieganie*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2010, 9, 14–17.
- [7] National Police Headquarters, 2018, Traffic accidents – annual reports.
- [8] Varhelyi A., *Road Safety Management*, „The Open Transportation Journal” 2016, 10(1), 137–155, <https://doi.org/10.2174/1874447801610010137>.
- [9] National Road Safety Programme 2013–2020, National Road Safety Council, Warszawa 2013, 7.
- [10] Section 1(2) of Ordinance No. 30 of the National Police Commander-in-Chief of 22 September 2017 on performing duty on roads, Official Journal of the National Police Headquarters of 2017, item 64.
- [11] Souza A.M., Brenand C., Yokoyama R, Donato E., Madeira E., Villa L., *Traffic management systems: A classification, review, challenges, and future perspectives*, „International Journal of Distributed Sensor Networks” 2017, 13(4), <https://doi.org/10.1177/1550147716683612>.
- [12] Merkisz J., Tarkowski S., *Wybrane aspekty wykorzystania pokładowych urządzeń rejestrujących w pojazdach samochodowych*, „Eksploracja i Niezawodność” 2011, 2, 50–58.
- [13] Kędzierska G., *Polskie prawo i kryministyka o oględzinach*, „Jurisprudencja” 2000, 18(10), 86–93
- [14] Wicher J., *Pojazdy samochodowe. Bezpieczeństwo samochodów i ruchu drogowego*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności WKŁ, Warszawa
- [15] Decision No. 472 of the Chief Commander of the Police of 18 November 2013 on the Curriculum of the Specialist Road Traffic Training Course – General Part, Official Journal of the National Police Headquarters item 95.

MARIUSZ NEPELSKI, PH.D. – security sciences, Lieutenant-Colonel, Professor at the Main School of Fire Service, Director of the Institute for Research and Development at the Police Academy in Szczytno, Senior Police Commissioner. His research and scientific interests involve issues related to internal security, including in particular public security (public order and safety) and common security (crisis management), including modern security technologies. He has been actively involved in a number of research and development projects. Author, co-author and scientific editor of numerous publications about the mentioned subjects, issued in Poland and abroad.

JAROSŁAW STRUNIAWSKI, PH.D. – the alumnus of the National Defence University and the Police Academy in Szczytno. He was awarded his PhD in Defence at the Management and Command Faculty of the National Defence University in Warsaw in 2012. He conducts national and international research on mass event security. He has actively participated in the training of public administration personnel at the provincial and county level, including PSP (Polish Fire Service), SG (Border Guard), BOR (Government Protection Bureau) and others. Since 1995 he has been professionally affiliated with the Police. His scientific interests include commanding the Police, command work, managing the security of mass events and public assemblies. Author and co-author of numerous scientific articles and three monographs from the field of safety, including the areas mentioned above. He has attended national and international research conferences.

Dominik Duralski^{a)*}

^{a)} *The Main School of Fire Service / Szkoła Główna Służby Pożarniczej*

^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: dduralski@sgsp.edu.pl*

Professional Development Prospects for State Fire Service Spokespersons and Press Officers

Perspektywa doskonalenia zawodowego rzeczników i oficerów prasowych Państwowej Straży Pożarnej

ABSTRACT

Aim: The primary purpose of this paper is to identify the needs of spokespersons and press officers of the State Fire Service as regards their professional development. This objective can be achieved by applying a preliminary survey. A supplementary objective is to define the characteristics of those officers' work.

Project and methods: An inseparable aspect of the rescue operations carried out by the State Fire Service (PSP) is the accompanying media coverage of such incidents. The basis for the correct preparation and distribution of information by fire service unit is the professionalism of the people responsible for this process. The tasks of spokespersons and press officers and their allocation in the structure of the service should be described in greater detail. The actions taken by those officers are not based on structural knowledge in the field of cooperation with the mass media. The work of spokespersons and press officers of PSP at the level of district / municipal and provincial headquarters was analysed. To this end, a preliminary survey among officers entrusted with these duties was carried out. The survey questionnaire consisted of 10 closed or open-ended questions. The survey was made available to PSP spokespersons and press officers on the basis of a contact form available on the website of KG PSP (PSP National Headquarters). The study featured 112 officers who served as spokespersons or press officers of PSP on a daily basis.

Results: The results of the study were the basis for defining the most prominent areas of knowledge in the field of cooperation with the mass media and the press, and information activities undertaken by spokespersons and press officers. Due to the participation in the survey of 112 respondents, its results were considered qualitatively representative. In addition, this paper includes the characteristics of the work of these officers and the challenges they face. The authors put forward recommendations related to the professional development of State Fire Service Spokespersons and Press Officers. The survey results have been demonstrated in graphic form, accompanied by their analysis.

Conclusions: At present, the professional development system does not respond to the needs of spokespersons and press officers. It is necessary to take into account the needs of this group of officers in the professional development system in place at PSP. This goal can be achieved by applying the general principles of professional development at PSP to spokespersons and press officers. This task should be preceded by a detailed needs analysis and the development of a training and professional development plan.

Keywords: press officers, the professional development, spokesperson, cooperation with the media

Type of article: original scientific article

Received: 15.11.2019; Reviewed: 19.12.2019; Accepted: 19.12.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0003-3397-4445;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 90–109, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.7>;

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

ABSTRAKT

Cel: Zasadniczym celem artykułu jest określenie potrzeb rzeczników i oficerów prasowych Państwowej Straży Pożarnej w zakresie doskonalenia zawodowego. Cel ten postuluje się osiągnąć za pomocą wstępnego badania ankietowego. Celem dodatkowym było określenie charakterystyki pracy tych funkcjonariuszy.

Projekt i metody: Nieodłącznym aspektem działań ratowniczych prowadzonych przez Państwową Straż Pożarną jest towarzyszący im medialny przekaz informacji. Podstawą prawidłowego przygotowania i dystrybuowania informacji przez tę formację jest profesjonalizm osób odpowiadających za ten proces. Zadania rzeczników i oficerów prasowych oraz ich alokacja w strukturze służby wymagają doprecyzowania. Czynności jakie podejmują ci funkcjonariusze nie są oparte o strukturalną wiedzę z zakresu współpracy ze środkami masowego przekazu. Analizie poddano pracę rzeczników i oficerów

prasowych Państwowej Straży Pożarnej na szczeblu komend powiatowych/miejskich oraz wojewódzkich. W tym celu przeprowadzono wstępne badanie ankietowe wśród funkcjonariuszy, którym zostały powierzone te obowiązki. Kwestionariusz ankiety składał się z 10 pytań o charakterze zamkniętym bądź otwartym. Ankieta udostępniona została rzecznikom i oficerom prasowym PSP na podstawie dostępnej na stronie internetowej KG PSP tabeli kontaktowej. W badaniu udział wzięło 112 funkcjonariuszy pełniących na co dzień funkcję rzecznika bądź oficera prasowego PSP.

Wyniki: W rezultacie przeprowadzonego badania zdefiniowano obszary wiedzy z zakresu współpracy ze środkami masowego przekazu oraz działań prasowo-informacyjnych podejmowanych przez rzeczników i oficerów prasowych, na które zwrócona być powinna szczególna uwaga. Ze względu na udział w badaniu 112 ankietowanych uznano jej wyniki za jakościowo reprezentatywne. Określono ponadto charakterystykę pracy tych funkcjonariuszy oraz stojące przed nimi wyzwania. Sformowano rekomendacje w zakresie doskonalenia zawodowego rzeczników i oficerów prasowych PSP. Wyniki badania przedstawiono w formie graficznej opatrzonej ich analizą.

Wnioski: Obecnie system doskonalenia zawodowego nie jest zorientowany na potrzeby rzeczników i oficerów prasowych. Niezbędne jest uwzględnienie potrzeb tej grupy funkcjonariuszy w przyjętym w Państwowej Straży Pożarnej systemie doskonalenia zawodowego. Cel ten można osiągnąć włączając rzeczników i oficerów prasowych w ogólne zasady doskonalenia zawodowego w PSP. Zadanie to poprzedzać powinna szczegółowa analiza potrzeb oraz opracowanie planu szkolenia i doskonalenia zawodowego.

Słowa kluczowe: rzecznik prasowy, oficer prasowy, współpraca z mediami, doskonalenie zawodowe

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 15.11.2019; **Zrecenzowany:** 19.12.2019; **Zatwierdzony:** 19.12.2019;

Identyfikator ORCID: D. Duralski – 0000-0002-4804-8893;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 90–109, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.7>;

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

Introduction

Nowadays, organisations, companies and services place emphasis on their media image understood as a set of associations created in the minds of recipients [1, p. 65]. The State Fire Service appointed PSP spokespersons and press officers with a view to creating a positive image in the mass media and wishing to provide effective communication during rescue operations. In order to systematise the activities undertaken by those staff members, the Chief Commandant of the State Fire Service approved a document entitled *The Principles of Cooperation between the Units of the National Firefighting Rescue System and the Mass Media* [2]. According to the said document, “a **spokesperson** is an officer of the State Fire Service at the national, provincial or optionally at the municipal level whose job title involves only tasks related to information policy and cooperation with the mass media (...)”. It was also indicated that “a **press officer** is an officer of the State Fire Service who, in addition to his/her usual tasks, is responsible for certain activities related to press and information policies”. The organisational structure of the State Fire Service includes 16 provincial headquarters and 335 district/municipal headquarters. Based on the analysis of the aforementioned document, it can be assumed that at least 17 spokespersons (responsible only for the tasks assigned to their position) should be employed with PSP units. Moreover, it is also possible to appoint a spokesperson in certain PSP municipal headquarters. Chiefs of district (municipal) PSP headquarters appoint press officers who assume this function and perform their tasks concurrently with other obligations which they have been assigned. The above analysis shows that there are 351 spokespersons and press officers in total within the struc-

Wprowadzenie

Współcześnie organizacje, firmy oraz służby zwracają szczególną uwagę na swój wizerunek medialny rozumiany jako zbiór asocjacji, które zostają wytworzone w umyśle odbiorcy [1, s. 65]. W trosce o kreowanie pozytywnego obrazu służby w mediach oraz w celu zapewnienia skutecznej komunikacji podczas prowadzonych działań ratowniczych Państwowa Straż Pożarna utworzyła funkcję rzecznika i oficera prasowego PSP. Dla usystematyzowania czynności podejmowanych przez pełniące je osoby w 2012 r. Komendant Główny PSP zatwierdził dokument pn. *Zasady współpracy jednostek Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego ze środkami masowego przekazu* [2]. W dokumencie tym określono, iż: **rzecznik prasowy** to „funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej szczebla krajowego, wojewódzkiego względnie miejskiego, wykonujący w ramach swojego zakresu obowiązku służbowego wyłącznie zadania z zakresu polityki informacyjnej i współpracy ze środkami masowego przekazu (...)”. Zdefiniowano również, że: **oficer prasowy** to „funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej wykonujący poza swoim zakresem obowiązków służbowych, część zadań polityki prasowo-informacyjnej”. Organizacyjnie Państwowa Straż Pożarna złożona jest z 16 komend wojewódzkich oraz 335 komend powiatowych/miejskich. Analizując zapisy dokumentu pn. *Zasady współpracy jednostek Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego ze środkami masowego przekazu*, należy przyjąć, iż w strukturze PSP powinno znaleźć się co najmniej 17 rzeczników prasowych (pełniących wyłącznie tę funkcję). Ponadto dopuszcza się powołanie rzecznika prasowego również w niektórych komendach miejskich PSP. Komendanci powiatowi (miejski) PSP wyznaczają oficerów prasowych, którzy tę funkcję pełnią nieetatowo tj. równocześnie z innymi powierzonymi im obowiązkami. Powyższa analiza wskazuje, iż w struktu-

tures of PSP. The analysis does not include the Main School of Fire Service, other schools and R&D centres, and the Central Museum of Fire Services, due to their characteristics and operation profile.

No catalogue of knowledge, skills or social competencies has been developed yet for PSP spokespersons and press officers. These should be divided into two categories. The first category includes fire-service qualifications, i.e. the structural knowledge in the field of PSP activities, rescue operations, preventive measures and other aspects, such as, for example, knowledge of regulations concerning fire protection of buildings. It is difficult to clearly identify fire service qualifications which a spokesperson or a press officer should have, but the optimum set of skills can be attributed to the profession of a fire service engineer, as it guarantees comprehensive knowledge in all aspects of PSP activities. The second category of qualifications includes skills which are closely related to cooperation with mass media representatives. This set of skills should be improved on an ongoing basis.

The current education and professional development system in place at PSP is adapted to the Polish general and higher education system. Firefighters obtain qualifications within a three-level education system. Training in the profession of a firefighter is mainly held at the Non-commissioned Officers School of Fire Service in Bydgoszcz, where graduates can obtain qualifications of non-commissioned officers. Warrant officers can obtain qualifications at the Central School of the State Fire Service in Częstochowa and Warrant Officers Schools of the State Fire Service in Kraków and Poznań. Graduates of those schools are qualified fire service technicians. The Main School of Fire Service is the only institution which provides training to commissioned officers of PSP. The School's proposal includes a degree programme in the field of safety engineering for candidate firefighters, a degree programme in the field of safety engineering for full-time firefighters and post-graduate non-degree programmes entitled "Professional preparatory training for commissioned officers of the State Fire Service" (two or four semesters) [3]. The system of professional development was laid down in a document entitled *Principles of Professional Development at the State Fire Service* [4], approved by the Chief Commandant of PSP on 1 December 2016. Professional development is defined as "a process of systematic and ongoing professional activity aimed at updating, broadening and improving the knowledge and skills related to work. It results from the advances in science, methods, technologies and the need to act independently" [4, p. 6].

The principles of professional development were defined in detail for:

- firefighters serving on a shift basis,
- firefighters serving on a shift basis in rescue & firefighting units, undergoing training at the rescue & firefighting units,
- firefighters serving on a shift basis in rescue & firefighting units, undergoing training in education centres,
- instructors specialising in specific types of rescue operations and emergency medical service specialists,
- members of specialised rescue teams,

– rach PSP wyznaczonych jest łącznie 351 rzeczników i oficerów prasowych. W przeglądzie tym – ze względu na ich charakterystykę oraz profil działalności – pominięto Szkołę Główną Służby Pożarniczej oraz inne szkoły, jednostki badawczo-rozwojowe oraz Centralne Muzeum Pożarnictwa.

Dotychczas nie został opracowany katalog wiedzy, umiejętności oraz kompetencji społecznych, jakimi powinien charakteryzować się rzecznik oraz oficer prasowy PSP. Z pewnością taki katalog powinien zawierać dwie kategorie. Pierwsza z nich dotyczy kwalifikacji pożarniczych tj. posiadania strukturalnej wiedzy w zakresie funkcjonowania PSP, prowadzonych działań ratowniczych, akcji prewencyjnych oraz innych obszarów, w tym znajomości przepisów dotyczących ochrony przeciwpożarowej budynków. Trudno określić, jakimi kwalifikacjami pożarniczymi powinien wykazywać się rzecznik czy oficer prasowy. Optymalne byłyby kwalifikacje właściwe dla zawodu inżyniera pożarnictwa – gwarantuje to rozbudowaną wiedzę na temat wszystkich aspektów działalności PSP. Druga grupa kwalifikacji dotyczy umiejętności związanych ściśle ze współpracą ze środkami masowego przekazu. Te ostatnie kwalifikacje powinny podlegać stałemu doskonaleniu.

Obecny system kształcenia i doskonalenia zawodowego PSP dostosowany jest do systemu edukacji oraz szkolnictwa wyższego w Polsce. Strażaków kształci się trzypoziomowo. Szkolenie w zawodzie strażak prowadzi głównie Szkoła Podoficerska PSP w Bydgoszczy, nadając swoim absolwentom kwalifikacje podoficerskie. Kształcenie aspiranckie oferują Centralna Szkoła PSP w Częstochowie oraz Szkoły Aspirantów PSP w Krakowie i Poznaniu. Ich absolwenci uzyskują tytuł technika pożarnictwa. Kształcenie oficerów PSP prowadzi jedynie Szkoła Główna Służby Pożarniczej. W ofercie uczelni znajdują się studia na kierunku *inżynieria bezpieczeństwa* dla strażaków w służbie kandydackiej, studia na kierunku *inżynieria bezpieczeństwa* dla strażaków w służbie stałej oraz studia podyplomowe pn. *Przeszkolenie zawodowe przygotowujące do zajmowania stanowisk oficerskich w Państwowej Straży Pożarnej* (dwa lub cztero-semestralne) [3]. Organizacje doskonalenia zawodowego przyjęto w dokumencie pn. *Zasady organizacji doskonalenia zawodowego w Państwowej Straży Pożarnej* [4], zatwierdzonym przez Komendanta Głównego PSP 1 grudnia 2016 r. Doskonalenie zawodowe definiowane jest jako „proces systematycznej oraz ciągłej aktywności zawodowej mający na celu aktualizowanie, rozszerzanie oraz pogłębianie wiedzy i umiejętności związanych z wykonywanym zawodem. Wynika z rozwoju nauki, techniki, ze zmian technologicznych wytwarzania oraz potrzeby samodzielności w działaniu” [4, s. 6].

Zasady doskonalenia zawodowego opracowano szczegółowo dla:

- strażaków pełniących służbę w zmianowym rozkładzie czasu służby,
- strażaków jednostek ratowniczo-gaśniczych pełniących służbę w zmianowym rozkładzie czasu służby, odbywających szkolenie w jednostkach ratowniczo-gaśniczych,
- strażaków jednostek ratowniczo-gaśniczych pełniących służbę w zmianowym rozkładzie czasu służby, odbywających szkolenie w ośrodkach szkolenia,
- instruktorów poszczególnych dziedzin ratownictwa i specjalistów ratownictwa medycznego,
- członków specjalistycznych grup ratowniczych,

- full-time and supernumerary operation control staff,
- commanders of rescue & firefighting units,
- coordinators and commanders of specialised teams,
- firefighters performing their duties related to rescue and firefighting operations, and
- firefighters not performing their duties related to rescue and firefighting operations.

The procedures and the subject-matter of professional development do not include any issues related to the press and information activities performed by spokespersons and press officers. The document entitled *The Principles of Professional Development at the State Fire Service* does not define any detailed rules for the professional training for this group of officers. Spokespersons are obliged to undergo training at least twice a year, while press officers are required to take part in training sessions at least once a year [2, p. 4]. However, no measures have been adopted to take into account the needs of PSP spokespersons and press officers in the general principles of professional development.

The method

With a view to diagnosing the needs related to the professional training of spokespersons and press officers, a preliminary survey was carried out among these officers. The survey method consisted in gaining knowledge on specific phenomena and the state of affairs, opinions and views of a specified group of persons [5, p. 59]. Firstly, a survey questionnaire was prepared. The questionnaire included issues related to the work of spokespersons and press officers, such as years of service in this position, determinants of appointing persons to the position, sources of knowledge used for self-study, the frequency of addressing the public, skills which require improvement, and, most importantly, the evaluation related to the need for professional training. The online questionnaire was made available to all spokespersons and press officers on the basis of contact details on the website of the National Headquarters of PSP [6]. The survey participants answered the questions in the period between 22 February 2018 and 26 March 2018. 112 respondents, out of 351 persons who had been sent the questionnaire, took part in the survey.

The results

Persons working in their position for over 4 years accounted for 59% of the survey participants. Nearly a fifth of the respondents reported between 2 and 4 years of service, whereas persons reporting between 1 and 2 years of service accounted for 15% of the group. Less than a year of experience in this position was reported by 7% of the respondents. This distribution demonstrates that PSP spokespersons and press officers with over four years of service were the most numerous group of respondents. Therefore, it can be stated that their experience in performing these functions is relatively extensive. The distribution of answers to a question on years of service in the position of a PSP spokesperson or press officer has been demonstrated in Figure 1.

- etatowych i nieetatowych obsad stanowisk kierowania,
- dowódców jednostek ratowniczo-gaśniczych,
- koordynatorów i dowódców grup specjalistycznych,
- strażaków wykonujących zadania związane z udziałem w działaniach ratowniczo-gaśniczych,
- strażaków niewykonujących zadań związanych z udziałem w działaniach ratowniczo-gaśniczych.

Wśród procedur oraz tematów doskonalenia zawodowego brakuje zagadnień związanych z prowadzonymi przez rzeczników i oficerów prasowych działaniami prasowo-informacyjnymi. Dokument pn. *Zasady organizacji doskonalenia zawodowego w Państwowej Straży Pożarnej* nie określa żadnych zasad doskonalenia zawodowego tej grupy funkcjonariuszy. Na rzeczników i oficerów prasowych został nałożony wymóg doskonalenia się – odpowiednio – nie rzadziej niż dwa razy w roku dla rzeczników prasowych oraz nie rzadziej niż raz w roku dla oficerów prasowych [2, s. 4]. Nie podjęto jednak działań związanych z uwzględnieniem potrzeb rzeczników i oficerów prasowych PSP w ogólnych zasadach doskonalenia zawodowego.

Metoda badawcza

Celem zdiagnozowania potrzeb w zakresie doskonalenia zawodowego rzeczników i oficerów prasowych przeprowadzono wstępne badanie ankietowe tych funkcjonariuszy. Metoda ankietowania polega na poznaniu określonych zjawisk oraz stanów rzeczy na podstawie poglądów, opinii i sądów wybranej grupy osób [5, s. 59]. W pierwszej kolejności opracowano kwestionariusz ankiety, w którym poruszono zagadnienia związane z pracą rzeczników i oficerów prasowych takie jak: staż pracy na tym stanowisku, determinanty wyboru na stanowisko, źródła z jakich korzystano podczas samodzielnego uzupełnienia wiedzy, częstotliwości wystąpień publicznych, braki w umiejętnościach oraz – co najważniejsze – ocenę dotyczącą konieczności doskonalenia zawodowego. Ankieta w wersji elektronicznej udostępniona została wszystkim rzecznikom i oficerom prasowym na podstawie danych kontaktowych zamieszczonych na stronie internetowej Komendy Głównej PSP [6]. Ankietowani udzielali odpowiedzi w dniach od 22 lutego 2018 r. do 26 marca 2018 r. W ankiecie udział wzięło 112 respondentów spośród 351 osób, którym została ona udostępniona.

Wyniki badania

Spośród ankietowanych 59% swoją funkcję pełni powyżej czterech lat. Stażem pracy wynoszącym od dwóch do czterech lat może pochwalić się prawie jedna piąta ankietowanych, a stażem pomiędzy rokiem a dwoma latami – 15% z nich. Mniej niż rok swoje obowiązki wykonuje 7% ankietowanych.

Z rozkładu tego wynika, iż zdecydowana większość rzeczników i oficerów prasowych PSP pełni swoją funkcję powyżej czterech lat. Fakt ten pozwala założyć relatywnie duże doświadczenie tej grupy respondentów. Rozkład odpowiedzi na pytanie o staż pracy na stanowisku rzecznika bądź oficera prasowego PSP przedstawia rycina 1.

Years of service in the position of a PSP spokesperson/press officer
Pani/Pana staż na stanowisku rzecznika/oficera prasowego PSP

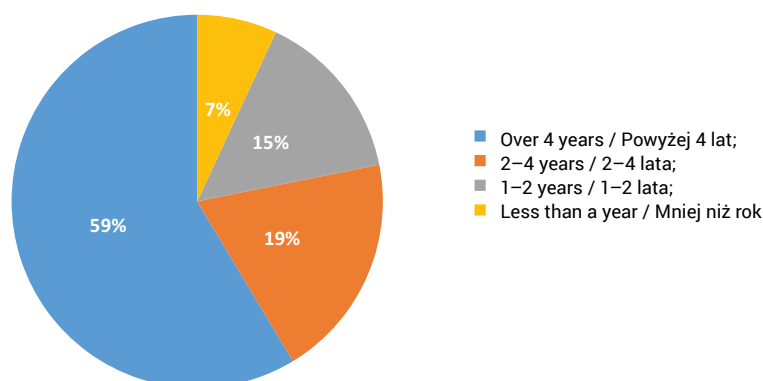


Figure 1. The distribution of answers to the question on years of service in the position of a PSP spokesperson or press officer

Rycina 1. Rozkład odpowiedzi na pytanie o staż pracy na stanowisku rzecznika bądź oficera prasowego PSP

Source: Own elaboration. / Źródło: Opracowanie własne.

Analysing the qualifications required from spokespersons and press officers, emphasis should be placed on the current system of appointment to these positions. This aspect has not been regulated yet, as there are no formal requirements in place for this group of officers. The selection, due to the special role of spokespersons and press officers, should be based on the detailed evaluation of the knowledge and competencies of potential candidates for the positions. For 14% of the respondents, competence was the decisive factor for the appointment. The largest proportion of the officers (56%) were appointed for the position of spokespersons or press officers by way of an instruction from their superiors. It is worth emphasising that in numerous PSP headquarters, the functions are assigned to a particular section or department. This “automatic” assignment of duties was reported by 23% of the respondents. Spokespersons and press officers who volunteered for the position accounted for 7% of the survey participants. The distribution of replies to the question about the circumstances under which they took the position of a spokesperson or a press officer has been presented in Figure 2.

Podczas analizy kwalifikacji, jakimi powinni legitymować się rzecznicy i oficerowie prasowi należy zwrócić uwagę na obecny system wyznaczania ich na te stanowiska. Dotychczas aspekt ten nie został uregulowany oraz nie określono wymagań zawodowych dla omawianej grupy funkcjonariuszy. Wybór rzeczników i oficerów prasowych, ze względu na ich szczególną rolę, powinien być dokonany na podstawie szczegółowej oceny wiedzy i kompetencji kandydatów. W przypadku 14% badanych funkcjonariuszy decydowało kryterium kompetencyjne. Zdecydowana większość (56%) powołana została na funkcję rzecznika bądź oficera prasowego poleceniem przełożonego. Na uwagę zasługują fakt, iż w wielu komendach PSP funkcja ta jest przyporządkowana do konkretnej sekcji bądź wydziału. Ten „automatyczny” przydział obowiązków przypadł w udziale 23% ankietowanych. Dobrowolnie obowiązki rzecznika bądź oficera prasowego pełni 7% ankietowanych. Rozkład odpowiedzi na pytanie o to, jakie były przesłanki do objęcia funkcji rzecznika bądź oficera prasowego przedstawia rycina 2.

You took the position of a spokesperson/press officer
Na stanowisko rzecznika/oficera prasowego została Pani/został Pan wyznaczony:

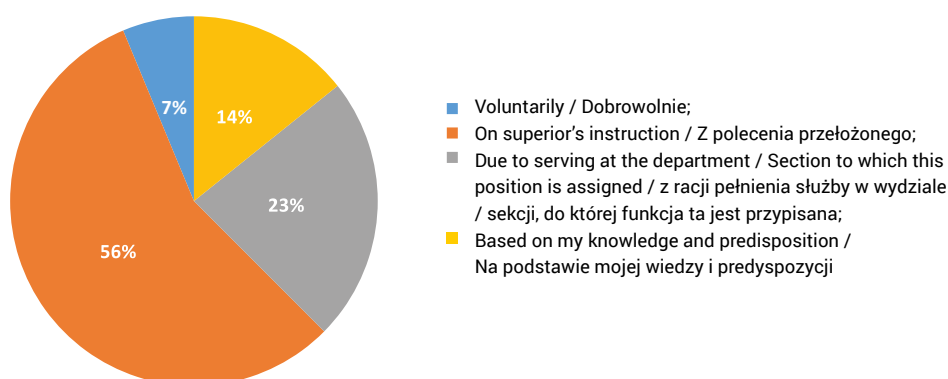


Figure 2. The distribution of replies to the question about the premises for taking the position of a PSP spokesperson or a press officer

Rycina 2. Rozkład odpowiedzi na pytanie o to, jakie były przesłanki do objęcia funkcji rzecznika bądź oficera prasowego PSP

Source: Own elaboration. / Źródło: Opracowanie własne.

As already mentioned, and which is worth noting, only 14% of the respondents reported competence desirable in the position of a PSP spokesperson or press officer. It can be stated that the remaining officers lacked the competence required to perform these functions. The next question in the survey referred to the issue of whether assuming the position of a spokesperson or a press officer involved the need to expand their knowledge by self-study. The positive answer to this question was given by 81% of the survey participants. This result shows that the majority of the officers did not receive a system-based support in the field of supplementing their knowledge which is required for the proper performance of their duties. The number of positive answers also suggests that the State Fire Service does not control the professional development methods selected by those officers, and it is difficult to check whether the expanded knowledge is consistent with the demands of the service. Figure 3 shows the distribution of answers to the question whether assuming the position of a spokesperson or a press officer involved the need to expand their knowledge by self-study.

Jak już zostało wspomniane, jedynie 14% ankietowanych legitymowało się kompetencjami, które przydatne są na stanowisku rzecznika bądź oficera prasowego PSP. Domniemywać można, iż pozostałym funkcjonariuszom brakowało niezbędnych dla tych stanowisk kompetencji. Kolejnym pytaniem w ankiecie było, czy objęcie funkcji rzecznika bądź oficera prasowego wiązało się dla tych funkcjonariuszy z koniecznością samodzielnego uzupełnienia wiedzy. Odpowiedzi twierdzącej udzieliło 81% ankietowanych. Ten wynik wskazuje, iż zdecydowana część respondentów nie otrzymała systemowego wsparcia w zakresie uzupełnienia wiedzy niezbędnej do wykonywania powierzonych im obowiązków. Liczba odpowiedzi twierdzących pozwala również założyć, iż Państwowa Straż Pożarna nie miała kontroli nad tym, w jaki sposób doskonalił się ci funkcjonariusze oraz czy uzupełniana wiedza odpowiada wyzwaniom służby. Rycina 3 przedstawia rozkład odpowiedzi na pytanie, czy objęcie funkcji rzecznika bądź oficera prasowego wiązało się z koniecznością samodzielnego uzupełnienia wiedzy.

Did the commencement of your service as a spokesperson/press officer involve the need to supplement your knowledge by self-study?
Czy rozpoczęcie pracy w charakterze rzecznika/oficera prasowego wiązało się dla Pani/Pana z koniecznością samodzielnego uzupełnienia wiedzy?

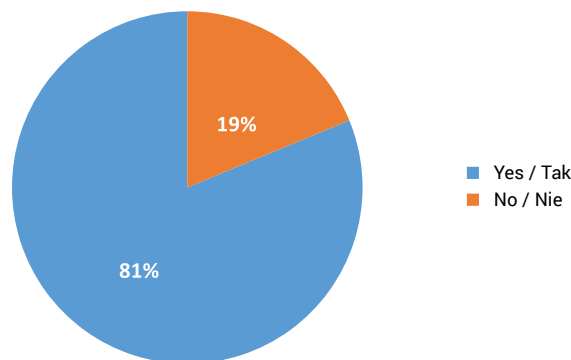


Figure 3. The distribution of answers to the question whether assuming the position of a spokesperson or a press officer involved the need to expand their knowledge by self-study

Rycina 3. Rozkład odpowiedzi na pytanie o to, czy objęcie funkcji rzecznika bądź oficera prasowego wiązało się z koniecznością samodzielnego uzupełnienia wiedzy

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

As regards the data shown in Figure 3, it is worth mentioning the sources of knowledge used by the officers for self-study. This was the topic of the next question. It was a multiple-choice question with an option to indicate additional sources of knowledge. The Internet was the most popular source of knowledge reported by PSP spokespersons and press officers. This answer was marked by nearly 82% of the respondents. It was followed by press (46.8%), professional training (34.9%), and professional literature (33.9%). Three officers who selected the "other" option indicated that they used the experience shared by their predecessors and drew on the observations of other spokespersons and press officers. One of the survey participants graduated from a second-cycle degree programme in journalism. The distribution of answers

Analizując rycinę 3 należy pochylić się nad źródłami, z jakich korzystano podczas samodzielnego uzupełniania wiedzy. Kwestia ta była przedmiotem kolejnego pytania, które miało charakter wielokrotnego wyboru z możliwością wskazania dodatkowego źródła (ankietowani mogli udzielić więcej niż jednej odpowiedzi). Najczęstszym źródłem wiedzy był dla rzeczników i oficerów prasowych PSP Internet. Tę odpowiedź wskazało prawie 82% ankietowanych. Następnie najwięcej ankietowanych wskazało na prasę (46,8%), profesjonalne szkolenia (34,9%) i literaturę fachową (33,9%). W wolnej odpowiedzi trzech funkcjonariuszy wskazało przekazane przez poprzednika doświadczenie oraz obserwację innych rzeczników i oficerów prasowych. Jeden spośród ankietowanych ukończył studia II stopnia

on the sources of knowledge used by spokespersons and press officers has been demonstrated in Figure 4. It was a multiple-choice question, and the respondents could select more than one answer.

na kierunku dziennikarstwo. Rozkład odpowiedzi na pytanie o źródła wiedzy, z jakich korzystali rzecznicy i oficerowie prasowi przedstawia rycina 4.

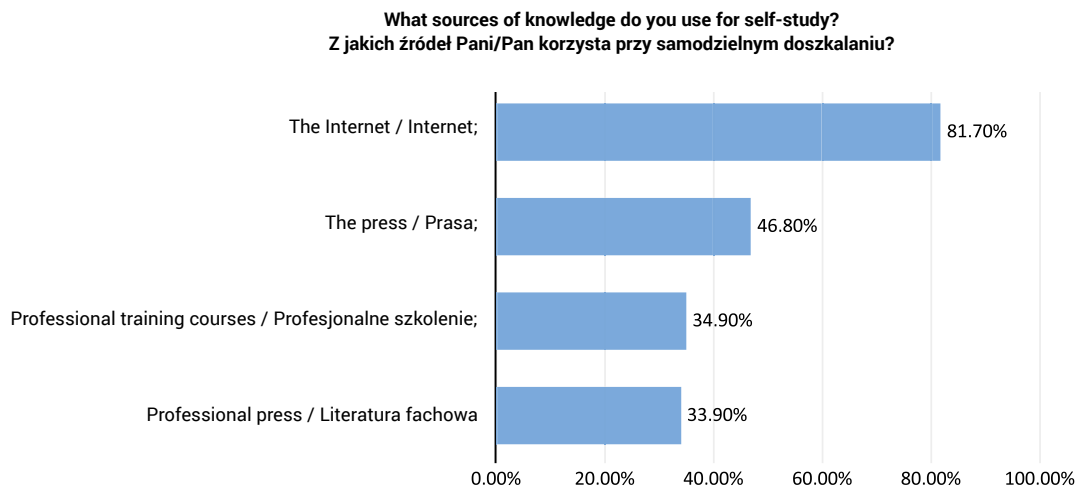


Figure 4. The distribution of answers to the multiple-choice question about the sources of knowledge which spokespersons and press officers used during self-study

Rycina 4. Rozkład odpowiedzi na pytanie wielokrotnego wyboru o źródła, z jakich korzystali podczas samodzielnego uzupełnienia wiedzy rzecznicy i oficerowie prasowi

Source: Own elaboration. / **Źródło:** Opracowanie własne.

In order to correctly identify the needs in the field of professional development, it was necessary to establish whether spokespersons and press officers ever encountered situations where, due to their nature and range, their skills in the field of contacts with mass media representatives were insufficient. A negative answer to this question was given by 83% of the respondents. Respondents who encountered situations where their skills were insufficient accounted for 17% of the survey participants. The distribution of answers to this question is shown in Figure 5.

Aby właściwie rozpoznać potrzeby w obszarze doskonalenia zawodowego, należało ustalić, czy w dotychczasowym przebiegu służby rzeczników i oficerów prasowych zdarzyły się sytuacje, które swoją charakterystyką bądź rozmiarem wykroczyły poza ich umiejętności w zakresie kontaktu ze środkami masowego przekazu. Na to pytanie 83% ankietowanych odpowiedziało przecząco. Wśród ankietowanych znalazło się 17% funkcjonariuszy, którzy uznali, iż przydarzyły im się sytuacje przekraczające ich umiejętności. Rozkład odpowiedzi na to pytanie przedstawia rycina 5.

**Have you ever encountered a situation in which you found your skills insufficient?
Czy zdarzyły się sytuacje przekraczające Pani/Pana umiejętności?**

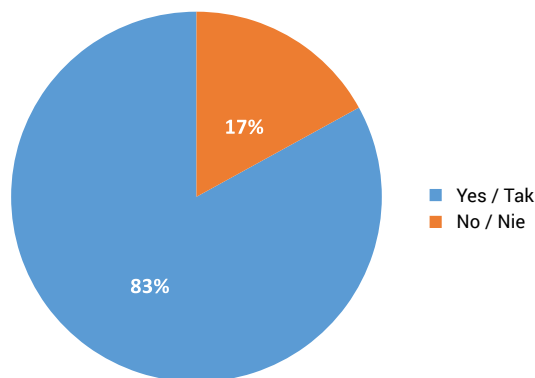


Figure 5. The distribution of answers to the question whether spokespersons and press officers ever encountered situations in which, due to their nature and range, their skills in the field of contacts with mass media representatives were insufficient

Rycina 5. Rozkład odpowiedzi na pytanie o to, czy w dotychczasowym przebiegu służby rzeczników i oficerów prasowych zdarzyły się sytuacje, które swoją charakterystyką bądź rozmiarem przekroczyły ich umiejętności w zakresie kontaktu ze środkami masowego przekazu

Source: Own elaboration. / **Źródło:** Opracowanie własne.

Analysing the data in Figure 5, it seems justifiable to identify the type of situations in which the officers found their skills insufficient. This issue was the topic of the next question. The most popular answers listed weather anomalies, natural disasters, large and very large fires and PSP operations with the use of a substantial number of staff and resources. In addition, the respondents also reported speaking in front of a camera and the need to comment on press materials which they considered biased or untrue. The above data shows that PSP spokespersons and press officers lack the skills of speaking in public and the knowledge of available defence methods arising from the provisions of the Press Law [7].

The next question referred to the issue of the frequency of PSP spokespersons and press officers speaking in public in relation to their function. The frequency mainly depends on the characteristics of a particular city or district, and the number and type of mass media operating in the area. Out of the 112 respondents, 46% reported speaking in public less often than once a month. This indicates that they do not have enough opportunities to gain hands on experience and that PSP management should provide professional-development training courses and sessions for spokespersons and press officers. Next, 19% of the respondents reported speaking in public two or three times a month, while the officers who spoke in public once a week accounted for 18% of the survey participants. The detailed distribution of answers to the question about the frequency of PSP spokespersons and press officers speaking in public is presented in Figure 6.

W celu interpretacji wyników, które ilustruje rycina 5, zasadne jest ustalenie, jakiego typu sytuacje funkcjonariusze uznali za przekraczające ich umiejętności. Tego zagadnienia dotyczyło kolejne pytanie. Najczęstszymi odpowiedziami były: anomalie pogodowe, klęski żywiołowe, duże i bardzo duże pożary oraz działania PSP z udziałem dużej ilości sił i środków. Ponadto wśród odpowiedzi znalazły się wystąpienia przed kamerą oraz konieczność ustosunkowania się do tendencyjnie bądź niezgodnie z prawdą przygotowanego materiału prasowego. Powyższe dane wskazują, iż rzecznikom oraz oficerom prasowym PSP brakuje umiejętności wystąpień publicznych oraz wiedzy na temat dostępnych metod obrony wynikających z przepisów Prawa prasowego [7].

Kolejne pytanie dotyczyło częstotliwości, z jaką publicznie występują rzecznicy i oficerowie prasowi PSP w związku z pełnioną funkcją. Częstotliwość ta zależy głównie od charakterystyki konkretnego miasta bądź powiatu oraz ilości i rodzaju działających w nich mediów. Spośród 112 ankietowanych, 46% z nich występuje publicznie rzadziej niż raz w miesiącu. Wskazuje to na brak możliwości nabierania doświadczenia „w boju” oraz konieczność zadbania przez kadrę kierowniczą PSP o kursy i szkolenia doskonalące dla rzeczników i oficerów prasowych. Kolejno, 19% ankietowanych ma okazję do wystąpień publicznych dwa lub trzy razy w miesiącu, 18% – raz w tygodniu. Przedstawione powyżej odpowiedzi ilustruje rycina 6.

How often do you speak in public as part of your duties as a spokesperson/press officer?
Jak często występuje Pani/Pan publicznie w związku z wykonywaną pracą rzecznika/oficera?

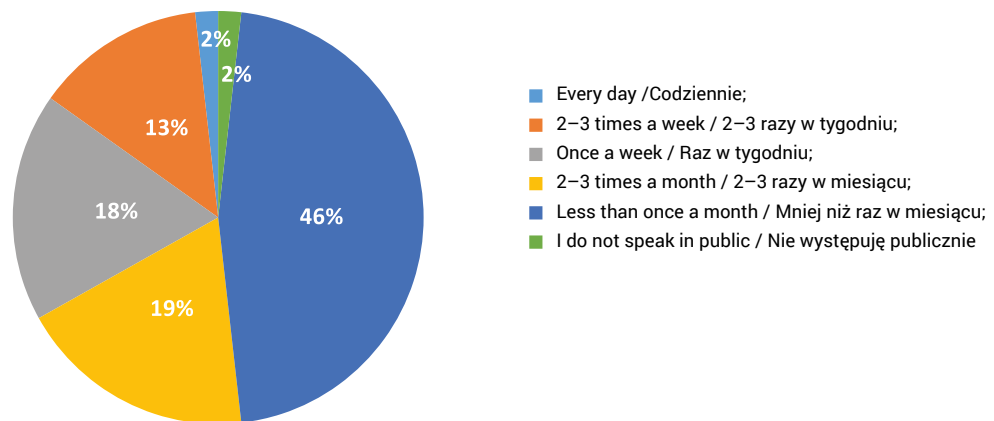


Figure 6. The distribution of answers to the question about the frequency of spokespersons and press officers speaking in public in relation to their service
Rycina 6. Rozkład odpowiedzi na pytanie o częstotliwość wystąpień publicznych rzeczników i oficerów prasowych w związku z pełnioną służbą
Source: Own elaboration. / **Źródło:** Opracowanie własne.

In the next part of the questionnaire, spokespersons and press officers provided information whether they had ever taken part in training sessions addressed to them. The following answers were suggested – “never, once, more than once.” The respondents who said that they had taken part in this type of training sessions more than once accounted for 51% of the group. It can be considered a fairly good result, although it should be remembered that 59% of

W dalszej części ankiety rzeczników i oficerów prasowych zapytano, czy kiedykolwiek uczestniczyli w szkoleniu im dedykowanym. Zaproponowano następujące odpowiedzi: nigdy, raz, więcej niż raz. 51% ankietowanych uczestniczyła w tego typu szkoleniach więcej niż raz. Jest to wynik relatywnie dobry, należy jednak pamiętać, iż 59% respondentów pełni swoją funkcję ponad 4 lata (zob. ryc. 1). Nigdy w takim szkoleniu nie uczestni-

the survey participants had over 4 years of experience (see Figure 1). The survey participants who had never taken part in such training sessions accounted for 12% of the group. The distribution of answers to the question whether the respondents had ever taken part in a training session addressed to them is shown in Figure 7.

czyło 12% ankietowanych. Rozkład odpowiedzi na pytanie dotyczące uczestnictwa w szkoleniu dla rzeczników i oficerów prasowych przedstawia rycina 7.

**Have you ever taken part in a training course/session addressed to spokespersons/press officers?
Czy uczestniczył Pani/Pan kiedykolwiek w szkoleniu/kursie dedykowanym rzecznikom/oficerom prasowym?**

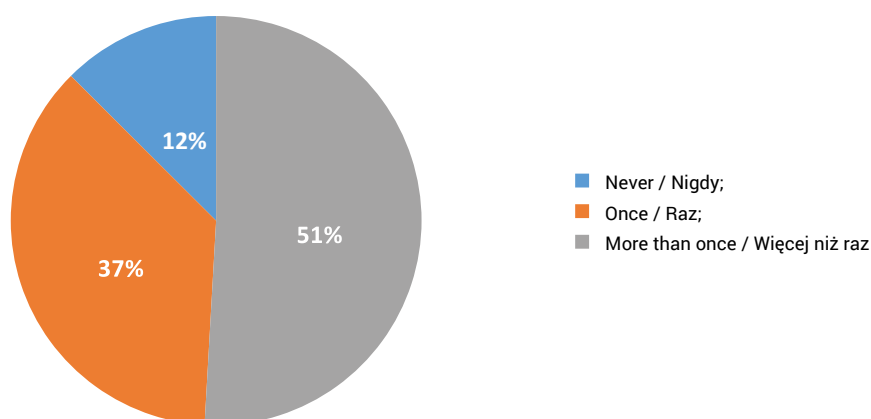


Figure 7. The distribution of answers to the question whether the spokespersons and press officers taking part in the survey had ever taken part in training sessions addressed to them

Rycina 7. Rozkład odpowiedzi na pytanie o to, czy ankietowani rzecznicy i oficerowie prasowi uczestniczyli w dedykowanym im szkoleniu doskonalącym

Source: Own elaboration. / **Źródło:** Opracowanie własne.

Referring to the question whether the spokespersons and press officers had ever taken part in professional development training addressed to them, a question was posed whether they saw the need for professional development of that group of officers. It was a single-choice question. The survey participants provided their answers using a scale from 1 to 5, where "1" indicated that they definitely did not see the need for professional development, and "5" indicated that they definitely saw such need. The definite need for professional development of the officers entrusted with the duties of PSP spokespersons or press officers was reported by 70.5% of the respondents. The distribution of answers to the question whether spokespersons and press officer saw the need for professional development of that group of officers has been presented in Figure 8.

Respondentów zapytano również, czy widzą oni potrzebę doskonalenia zawodowego tej grupy funkcjonariuszy. Było to pytanie jednokrotnego wyboru, a odpowiedzi można było udzielać w pięciostopniowej skali (gdzie odpowiedź 1 oznaczała, iż zdecydowanie nie widzą takiej potrzeby, odpowiedź 5 – iż zdecydowanie widzą taką potrzebę). 70,5% ankietowanych zdecydowanie widzi potrzebę doskonalenia zawodowego funkcjonariuszy, którym powierzono funkcję rzecznika bądź oficera prasowego PSP. Rozkład odpowiedzi na pytanie przedstawia rycina 8.

**Do you see the need for the professional development of officers serving as spokespersons/press officers?
Czy widzi Pani/ Pan potrzebę doskonalenia zawodowego funkcjonariuszy pełniących funkcję rzecznika/oficera prasowego?**

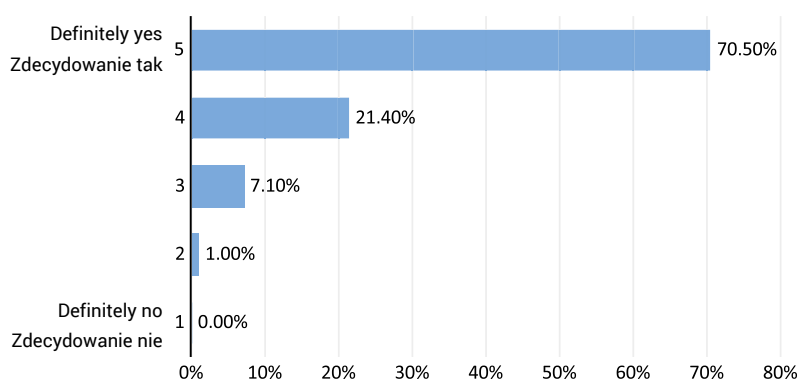


Figure 8. The distribution of answers to the question whether spokespersons and press officers saw the need for professional development of that group of officers

Rycina 8. Rozkład odpowiedzi na pytanie o to, czy rzecznicy i oficerowie prasowi widzą potrzebę doskonalenia zawodowego tej grupy funkcjonariuszy

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The key question in the survey featuring spokespersons and press officers was related to the issue of the range of knowledge the respondents would like to expand. Five answers were suggested for this question – “contacts with the mass media”, “speaking in public”, “press law”, “using social media”, and “the activities of spokespersons and press officers during a media crisis.” It was a multiple-choice question and the respondents could select more than one answer. The most popular answer was “speaking in public” as it was selected by 56.3% of the respondents. The detailed distribution of answers to this question is shown in Figure 9.

Kluczowe pytanie ankiety przeprowadzonej wśród rzeczników i oficerów prasowych dotyczyło zakresu wiedzy, o którą chcieliby się wzbogacić ankietowani. Zaproponowano pięć odpowiedzi tj. *kontakt z mass mediami, wystąpienia publiczne, prawo prasowe, wykorzystanie mediów społecznościowych oraz działalność rzecznika bądź oficera prasowego w trakcie kryzysu medialnego*. Pytanie miało charakter pytania wielokrotnego wyboru, ankietowani mogli udzielić więcej niż jednej odpowiedzi. Najczęściej udzieloną była odpowiedź związana z wystąpieniami publicznymi, którą wybrało 56,3% ankietowanych. Rycina 9 prezentuje szczegółowy rozkład odpowiedzi.

What issues would you like to explore as part of improving your skills related to the position of a spokesperson/press officer?
O jakie zagadnienia chciałaby Pani/chciałby Pan poszerzyć swoje umiejętności związane z wykonywaniem funkcji rzecznika/oficera prasowego?

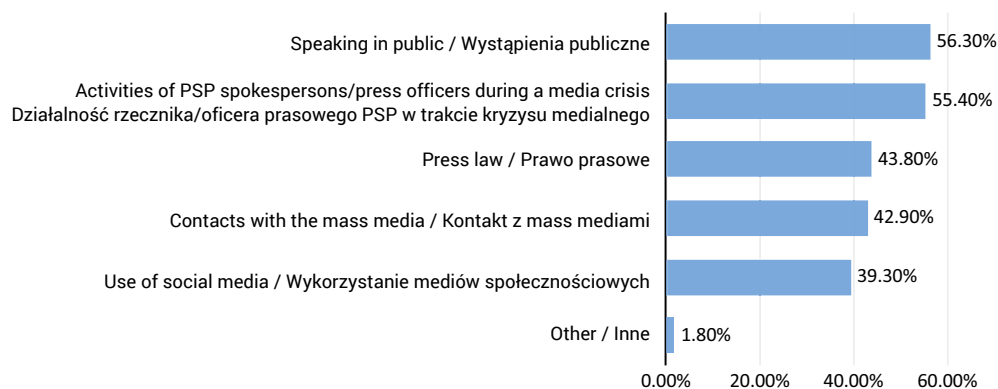


Figure 9. The distribution of answers to the multiple-choice question on the range of knowledge which PSP spokespersons or press officers would like to expand

Rycina 9. Rozkład odpowiedzi na pytanie wielokrotnego wyboru o zakres wiedzy, o którą chcieliby się wzbogacić ankietowani rzecznicy i oficerowie prasowi PSP

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Discussion on the methods and results – recommendations related to the professional development of PSP spokespersons and press officers

The results of the preliminary survey conducted among spokespersons and press officers demonstrated that it is necessary to develop a training and professional development system for these officers. This objective may be achieved by appropriately updating “*The Principles of Professional Development at the State Fire Service*.” As already mentioned in the introduction, all PSP officers are obliged to pursue professional development, taking into account the nature of the tasks they perform. The professional development of spokespersons and press officers should be included in a sub-chapter entitled “*The system of professional development of firefighters fulfilling tasks related to participation in rescue operations*.” This sub-chapter supplements a chapter entitled “*The professional development of firefighters serving on a day-shift basis and civil staff*.”

Dyskusja nad metodami i wynikami – rekomendacje w zakresie doskonalenia zawodowego rzeczników i oficerów prasowych PSP

Wstępne badanie ankietowe, które zostało przeprowadzone wśród rzeczników i oficerów prasowych, wskazuje na potrzebę stworzenia dedykowanego im systemu szkolenia oraz doskonalenia zawodowego. Temu celowi służyć z powodzeniem mogą odpowiednio zaktualizowane *Zasady organizacji doskonalenia zawodowego w Państwowej Straży Pożarnej*. Jak wspomniano we wprowadzeniu, doskonaleniu zawodowemu podlegają wszyscy funkcjonariusze PSP z uwzględnieniem charakterystyki zadań, jakie wykonują. Doskonalenie zawodowe rzeczników i oficerów powinno zostać uwzględnione w podrozdziale „Organizacja doskonalenia zawodowego strażaków wykonujących zadania związane z udziałem w działaniach ratowniczych”. Podrozdział ten stanowi rozwinięcie rozdziału „Doskonalenie zawodowe strażaków pełniących służbę w codziennym rozkładzie czasu służby oraz pracowników cywilnych”.

The main obligations of PSP spokespersons or press officers include press and information activities related to the rescue operations conducted by PSP units. In line with the principles of cooperation between the units of the National Firefighting Rescue System and the mass media, in the event of long-lasting operations, a spokesperson or a press officer should be part of the command centre staff [2, p. 10]. Analysing the above, it can be stated that spokespersons or press officers perform tasks related to participating in rescue operations. Furthermore, at the beginning of a given operation, the obligation to contact the media is imposed on the person in command of the rescue operation, and a spokesperson or a press officer can take over the tasks. This demonstrated that spokespersons and press officers take part in rescue operations. Therefore, an appropriate place of spokespersons and press officers in PSP professional development structure is the first step towards supplementing and raising their qualifications.

The development of a professional development programme for this group of officers is a key issue here. On the basis of the preliminary survey and the analysis of the subject matter, it is possible to list issues which should be taken into account.

These are most of all issues related to:

- speaking in public,
- the principles of the work of spokespersons or press officers during a media crisis,
- the press law and the principles of defence in contacts with mass media representatives,
- the use of social media in the work of a spokesperson or a press officer.

The aforementioned elements can be influenced by appropriate preparation for contacts with mass media representatives, or the ability to prepare press materials, including photographs and videos. These areas should also be included in the professional training programme.

It is recommended that the State Fire Service adopt a comprehensive professional development system for PSP spokespersons and press officers aimed at responding to the needs of this group of officers.

Summary

Adam Łaszyn points out that notwithstanding whether the tasks of a spokesperson are performed occasionally or on a day-to-day basis, “the skills of communicating with the mass media are necessary and it is worth gaining them” [8, p.20]. The work in the position of a spokesperson or a press officer is both a distinction and a huge challenge. The image of PSP depends on their work. The appropriate preparation of persons representing PSP should be treated as priority. The definition of competence and the range of knowledge which each spokesperson or press officer should have was made possible thanks to conducting this preliminary survey featuring those officers. The professional development system in place at PSP does not fully account for the needs of spokespersons and press officers, leaving this aspect of PSP

Wśród głównych obowiązków rzecznika bądź oficera prasowego PSP pozostają czynności prasowo-informacyjnych związane z prowadzonymi przez PSP działaniami ratowniczymi. Zasady współpracy jednostek Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego ze środkami masowego przekazu określają, iż w przypadku działań długotrwałych rzecznik bądź oficer prasowy powinien zostać włączony do sztabu akcji [2, s. 10]. Przytoczony zapis daje podstawy interpretacji, iż rzecznik bądź oficer prasowy wykonuje zadania związane z udziałem w działaniach ratowniczych. Ponadto początkowo obowiązek kontaktu z mediami spoczywa na kierującym działaniem ratowniczym, a obowiązki te może przejąć od niego rzecznik bądź oficer prasowy. Uwarunkowania te wskazują na udział rzeczników i oficerów prasowych w działaniach ratowniczych. Dlatego też odpowiednia lokalizacja w strukturze doskonalenia zawodowego PSP rzeczników i oficerów prasowych stanowi pierwszy krok w procesie uzupełniania i podnoszenia przez nich kwalifikacji.

Kluczowym zagadnieniem staje się opracowanie programu doskonalenia zawodowego omawianej grupy funkcjonariuszy. Na podstawie przeprowadzonego wstępnego badania ankietowego oraz analizy przedmiotu wyróżnić można obszary, które wymagają uwzględnienia.

Są to przede wszystkim zagadnienia związane z:

- wystąpieniami publicznymi;
- zasadami pracy rzecznika bądź oficera prasowego podczas kryzysu medialnego;
- prawem prasowym oraz zasadami obrony w kontakcie ze środkami masowego przekazu;
- wykorzystaniem mediów społecznościowych w pracy rzecznika bądź oficera prasowego.

Wpływ na powyższe elementy ma odpowiednie przygotowanie się do kontaktu ze środkami masowego przekazu, czy chociażby umiejętność przygotowania materiałów prasowych, w tym zdjęć oraz filmów. Te obszary również powinny być uwzględnione w programie doskonalenia.

Rekomenduje się więc przyjęcie w Państwowej Straży Pożarnej kompleksowego systemu doskonalenia zawodowego rzeczników i oficerów prasowych PSP zorientowanego na potrzeby tej grupy funkcjonariuszy.

Podsumowanie

Adam Łaszyn wskazuje, iż niezależnie od tego, czy funkcję rzecznika prasowego pełni się okazjonalnie, czy jest ona codziennością, „kwalifikacje kontaktu z mediami są niezbędne i warto je zdobyć” [8, s. 20]. Praca w roli rzecznika bądź oficera prasowego to jednocześnie wyróżnienie i duża odpowiedzialność. Od sposobu jej pełnienia zależy wizerunek PSP. Odpowiednie przygotowanie osób, które reprezentują PSP powinno być priorytetem. Określenie kompetencji oraz obszarów wiedzy, jakimi powinien legitymować się rzecznik bądź oficer prasowy, możliwe stało się dzięki przeprowadzeniu wstępnego badania ankietowego tych funkcjonariuszy. System doskonalenia zawodowego przyjęty w PSP nie uwzględnia w pełni potrzeb rzeczników i oficerów prasowych, pozostawiając ich rozwój i kompetencje nieuregulowanym aspektem działalności PSP. Medialny przekaz z działań

operations unregulated. The media coverage of rescue operations, running websites and preparing social campaigns are only some of the tasks entrusted to spokespersons and press officers. In the times of fast information exchange, PSP should build a well-organised and effective press and information service. The effectiveness of the activities which spokespersons and press officers perform to a large extent depends on the professional development system. Persons of high professional competence in the field of cooperation with the mass media are the only ones who have the ability to foster the media image of PSP. The results of the survey should be a starting point in the process of professionalising the work of spokespersons and press officers, and should provoke a discussion on the role, tasks and support of such officers. In the future, PSP should seek to support spokespersons and press officers in reaching a high level of specialisation, comparable to other areas of operation of this service, e.g. firefighting, technical rescue, chemical salvage, and environmental and medical rescue operations [9, § 1]. The professional work of spokespersons and press officers should be an indispensable aspect of rescue operations conducted by PSP. Their activities should gain particular significance during natural disasters, since such circumstances require evacuation or effective communication with the citizens. The professional approach of spokespersons and press officers influences not only the image of PSP but also the safety of citizens.

ratowniczych, prowadzenie stron internetowych oraz przygotowanie kampanii społecznych to tylko niektóre z zadań powierzanych rzecznikom i oficerom prasowym. W dobie coraz szybszego obiegu informacji PSP powinna budować zorganizowaną i skuteczną służbę prasowo-informacyjną. Sprawność podejmowanych przez rzeczników i oficerów prasowych działań w dużej mierze zależeć będzie od systemu doskonalenia zawodowego. Wyłącznie osoby o wysokich kompetencjach zawodowych w zakresie współpracy ze środkami masowego przekazu będą potrafiły w odpowiedni sposób zadbać o wizerunek medialny PSP. Wyniki przeprowadzonego badania powinny stanowić punkt wyjścia w procesie profesjonalizacji pracy rzeczników i oficerów prasowych oraz rozpocząć dyskusję o roli, zadaniach i wsparciu tych funkcjonariuszy. W przyszłości PSP dążyć powinna do osiągnięcia przez rzeczników i oficerów prasowych wysokiego poziomu specjalizacji, porównywalnego do innych obszarów działalności tej formacji np. walki z pożarami oraz ratownictwa technicznego, chemicznego, ekologicznego i medycznego [9, § 1]. Profesjonalna praca rzeczników i oficerów prasowych powinna być nieodzownym aspektem działań ratowniczych prowadzonych przez PSP. Ma ona szczególne znaczenie podczas klęsk żywiołowych, w trakcie których konieczna jest ewakuacja ludności czy skuteczna komunikacja ze społeczeństwem. Profesjonalizm rzeczników i oficerów prasowych wpływa więc nie tylko na wizerunek PSP, ale przede wszystkim na bezpieczeństwo obywateli.

Literature / Literatura

- [1] Witek E., *Komunikacja wizerunkowa*, Wyd. ASTRUM, Wrocław 2015.
- [2] KG PSP, *Zasady współpracy jednostek Krajowego Sytemu Ratowniczo-Gaśniczego ze środkami masowego przekazu*, Warszawa 2012.
- [3] https://www.sgsp.edu.pl/?page_id=40 [dostęp: 10.11.2019].
- [4] KG PSP, *Zasady organizacji doskonalenia zawodowego w Państwowej Straży Pożarnej*, Warszawa 2016.
- [5] Pelc M., *Elementy metodologii badań naukowych*, Wyd. AON, Warszawa 2012.
- [6] http://www.straz.gov.pl/kontakt/Rzeczniczy_prasowi_komentantow_wojewodzkich_PSP_i_szkol_PSP [dostęp: 01.02.2018].
- [7] Ustawa z dnia 26 stycznia 1984, Prawo Prasowe (Dz. U. 1984 Nr 5, poz. 24).
- [8] Łaszyn A., *Media i Ty*, Wyd. Message House, Warszawa 2015.
- [9] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 3 lipca 2017 w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz. U., poz. 1319).

DOMINIK DURALSKI, M.SC. ENG. – Lecturer at the Faculty of Safety Engineering and Population Protection at the Main School of Fire Service (SGSP). He graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering at SGSP having completed a degree programme in the field of safety engineering, specialising in fire safety engineering. In the period between 2015 and 2018, he was an expert for student affairs at the Polish Accreditation Committee. His active involvement in student activities was completed in the position of the Chairman of the Forum of Technical Universities. Between 2017 and 2019, he was member of the Disciplinary Board for academic teachers at the Central Council for Science and Higher Education.

MGR INŻ. DOMINIK DURALSKI – asystent na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa i Ochrony Ludności Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego SGSP na kierunku inżynieria bezpieczeństwa w specjalności inżynieria bezpieczeństwa pożarowego. W latach 2015–2018 Ekspert Polskiej Komisji Akredytacyjnej ds. studenckich. Prowadził aktywną działalność studencką, w tym na stanowisku Przewodniczącego Forum Uczelni Technicznych. W latach 2017–2019 członek Komisji Dyscyplinarnej ds. nauczycieli akademickich przy Radzie Głównej Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Natalia Ivashyna^{a)}, Oleksandr Borys^{a)}, Alla Odynets^{a)*}

^{a)} Ukrainian Civil Protection Research Institute

* Corresponding author: undicz@dsns.gov.ua

Situation in Ukraine Concerning Fire Deaths

Ofiary śmiertelne w pożarach – sytuacja na Ukrainie

ABSTRACT

Purpose: To present statistical data about fires and fire deaths from the past ten years, and to use these as the basis for developing guidelines to regulate fire safety in Ukraine.

Introduction: During 2009–2018 in Ukraine there was a tendency for the number of fires to increase and for the number of fire deaths to decrease. At the same time, in comparison with the global data on fires, Ukraine is characterized by extremely low level of public protection against fires. This is especially true in rural areas. The largest number of fire deaths was recorded in the residential sector. This is due to the imperfection of public administration in the sphere of civil protection and fire safety. The existing system of civil protection in Ukraine does not fully fulfil the task of implementing state policy in the sphere of civil protection. Civilian protection forces, and in particular fire and rescue units, generally do not provide timely response to dangerous fire-related events. As a result, more than 85% of people die on site before the arrival of fire and rescue units. This situation is also because of the ineffective prevention of emergencies, which is limited to state supervision (control) measures, while mass preventive and educational activities in the area of fire safety are not really implemented. Therefore, there is a need to formulate guidelines for public regulations to improve fire safety in Ukraine in order to increase the level of public protection against fire.

Methodology: Review of statistical data was conducted using methods of mass statistical monitoring, statistical generalization and grouping, and statistical processing of generalized and non-generalised indices.

Conclusions: Statistical data on the occurrence of fires and fire deaths in Ukraine in 2009–2018 was presented and compared with global fire statistics. It was established that Ukraine has unsatisfactory mechanisms in the sphere of fire safety and there is a need to improve public administration in the sphere of civil protection and fire safety. We suggested some basic guidelines for public regulations related to fire safety to revise and improve the legislation in the area of civil protection and fire safety.

Keywords: fire statistics, fire deaths, public regulation

Type of article: review article

Received: 10.07.2019; Reviewed: 28.11.2019; Accepted: 30.12.2019;

Authors' ORCID IDs: N. Ivashyna – 0000-0003-0988-3500; O. Borys – 0000-0002-5998-2964; A. Odynets – 0000-0002-9562-8508;

Percentage contribution: N. Ivashyna: 30%; O. Borys – 40%; A. Odynets – 30%;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 110–114, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.8>;

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

ABSTRAKT

Cel: Prezentacja danych statystycznych z ostatnich dziesięciu lat na temat pożarów i ich ofiar na Ukrainie. Sformułowanie na tej podstawie zaleceń do regulacji prawnych w zakresie bezpieczeństwa pożarowego na Ukrainie.

Wprowadzenie: W latach 2009–2018 na Ukrainie zaobserwowano trend wzrostowy liczby pożarów i jednoczesny spadek liczby ofiar śmiertelnych w wyniku tych zdarzeń. Jednocześnie, w porównaniu z danymi światowych statystyk pożarów, Ukraina charakteryzuje się wyjątkowo niskim poziomem ochrony ludności przed pożarami, w szczególności na obszarach wiejskich. Najwięcej zgonów z powodu pożarów odnotowuje się w sektorze mieszkaniowym. Wynika to z niedoskonałości administracji publicznej w dziedzinie ochrony ludności i bezpieczeństwa pożarowego. Istniejący system ochrony ludności Ukrainy nie spełnia w pełni zadania polegającego na wdrażaniu polityki państwa w sferze obrony cywilnej.

Cywilne siły ochrony, w szczególności jednostki przeciwpożarowe i ratownicze, z reguły nie zapewniają szybkiej reakcji na niebezpieczne zdarzenia związane z pożarem. Ponad 85% ludzi umiera na miejscu pożaru przed przybyciem jednostek pożarniczych i ratowniczych. Do pewnego stopnia potęguje to nieskuteczna reakcja na sytuacje kryzysowe, która ogranicza się do środków nadzoru państwowego (kontroli), a powszechna edukacja w dziedzinie bezpieczeństwa pożarowego praktycznie nie funkcjonuje. Istnieje zatem potrzeba sformułowania kierunków regulacji prawnych mających na celu poprawę bezpieczeństwa pożarowego na Ukrainie.

Metodologia: Przegląd informacji statystycznych przeprowadzono przy użyciu metod masowej obserwacji statystycznej, syntezy statystycznej i grupowania oraz statystycznego przetwarzania skonsolidowanych i niezgrupowanych wskaźników.

Wnioski: Statystyki dotyczące występowania pożarów i ofiar śmiertelnych w wyniku pożarów na Ukrainie za lata 2009–2018 zostały porównane z danymi ze światowej statystyki pożarów. Ustalono, że na Ukrainie utrzymuje się niezadowolający stan w dziedzinie bezpieczeństwa pożarowego w zakresie ochrony ludności przed pożarami oraz uzasadniona jest konieczność usprawnienia działań administracji publicznej w zakresie ochrony ludności, bezpieczeństwa technicznego i pożarowego. Autorzy rekomendują podstawowe kierunki zmian w regulacjach prawnych, przegląd i udoskonalenie legislacji w zakresie ochrony ludności, bezpieczeństwa pożarowego i technologicznego.

Słowa kluczowe: statystyka pożarów, zgon w wyniku pożaru, regulacje państwowe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 10.07.2019; **Zrecenzowany:** 28.11.2019; **Zatwierdzony:** 30.12.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: N. Ivashyna – 0000-0003-0988-3500; O. Borys – 0000-0002-5998-2964; A. Odynets – 0000-0002-9562-8508;

Procentowy wkład merytoryczny: N. Ivashyna: 30%; O. Borys – 40%; A. Odynets – 30%;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 110–114, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.8>;

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

Introduction

In terms of fire deaths, the situation in Ukraine has been difficult. The gradual increase in the number of fires, as evidenced by the statistical data for the last decade, does not fully correspond to the actual fire situation but emphasizes the need for further improvement in fire reporting in Ukraine. And the decrease in the number of fire deaths relies on social processes occurring in public life in this country. Therefore, the improvement of public administration in the sphere of civil protection and fire safety is crucial for the protection of the population from fires.

Main part

In the period 2009–2018, there was a general tendency in Ukraine for the number of fires to increase and for the number of fire deaths to decline (Figure 1) [1–3]. At the same time, quantity indicator of fires per thousand people per year was the smallest among the EU countries. For example, in Ukraine in 2016 this ratio was 1.7 (population of 42,673,000) against 2.6 in Spain (population of 47,079,000) and 3.3 in Poland (population of 38 454,000) [1–4].

Legal regulation of the fire accounting procedure in Ukraine, the changes of which came into force in 2010, has improved the mechanism for calculating the number of fires [5–6]. Also, this situation was both directly and indirectly influenced by economic and social processes and phenomena occurring in the social sphere of life in the last decade, which included the following

- reducing of the population of Ukraine by more than 3.6 million people;
- economic instability in the state, which led to a decrease in the level of fire protection and an increase in the number of fires in the industrial sector, as well as in the residential sector and natural ecosystems.

Despite its downward trend, the average number of deaths per 100 fires and the average number of deaths per 100,000 population in Ukraine remain high compared to the generalized global data on fires (Table 1) [1–4].

The results of the review of the legislation regulating the reporting of fires and their consequences in Ukraine and in the EU Member States indicate that the approach to the recording of deaths and injuries in the fires is almost the same whilst fires are recorded on a slightly different basis. Consequently, cases of a short circuit of an electrical equipment without subsequent combustion, or combustion of waste outdoors, which did not lead to material losses, are not categorised as fires in Ukraine [3], [7].

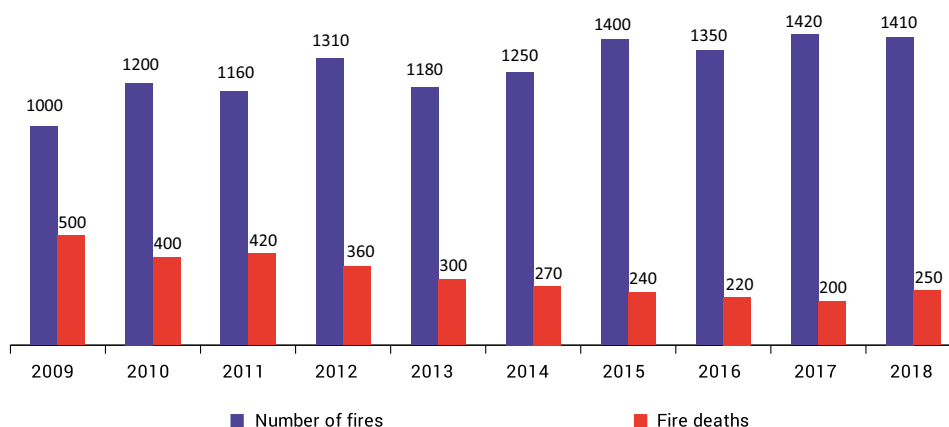


Figure 1. The number of fires and fire deaths in Ukraine in the period 2009–2018 [1–3]

Table 1. Trend in deaths per 100 fires and deaths per 100,000 population in Ukraine and globally in the period between 2009 and 2018

Indicator	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
The average number of deaths per 100 fires (Ukraine)	7.2	4.5	4.7	3.8	4.1	3.2	2.4	2.5	2.1	2.4
The average number of deaths per 100 fires (world index)	1.4	1.4	1.5	0.8	0.9	0.8	0.5	0.6	-	-
The average number of deaths per 100,000 population (Ukraine)	6.9	6.2	6.3	6.0	5.5	5.2	4.5	4.4	4.3	4.6
The average number of deaths per 100,000 population (world index)	1.3	2.1	2.1	2.2	2.0	1.9	1.8	1.6	-	-

Source: Own elaboration.

What is the most important problem in the sphere of fire safety in Ukraine is how to protect the population against the fires in the residential sector, and in particular in rural areas. Every year, the residential sector accounts for 76.3% of the total number of such fires and for 95.5% of the total number of deaths in Ukraine, of which 54.5% are in residential buildings in rural settlements [3]. At the same time, the number of people living in rural areas is twice less than the urban population. This ratio is clearly perceptible when we consider data on the average number of deaths per 100,000 population (Figure 2) [1–3].

This can be attributed to the imperfection of public administration in the sphere of civil protection and fire safety, which requires systemic public regulation. The reasons for this are as follows:

- outstanding issues regarding the implementation and control of, and responsibility for, the education about fire safety rules in the residential sector;
- lack of regular educational activities in the sphere of fire safety and reducing the number of fires;
- insufficient provision of settlements by fire and rescue units.

The analysis of the conditions that have affected the fire deaths shows that most people die as a result of poisoning with toxic combustion products, or alcohol intoxication or while sleeping. In general, in 2018 poisoning by combustion products accounted for 33.1% of the total number of fire deaths, while 23.1% and 15.4% died while intoxicated and while sleeping, respectively [3]. Statistical data show that more than 85% of people die before the arrival of fire and rescue units, and the largest number of deaths is recorded 5–10 minutes after the fire outbreak (Figure 3).

Global statistical data shows that among EU Member States, the area serviced by one fire station in Ukraine is the largest at 624 sq. km., and the amount of fire-fighting equipment per 1,000 sq. km. is one of the smallest with 6 units. For example, the area of per fire station in France is 99 sq. km., in Poland 19 sq. km., and in Germany 11 sq. km. The number of fire-fighting equipment per 1,000 sq. km in France is 13 units, in Poland 65 units, and Germany 122 units [8].

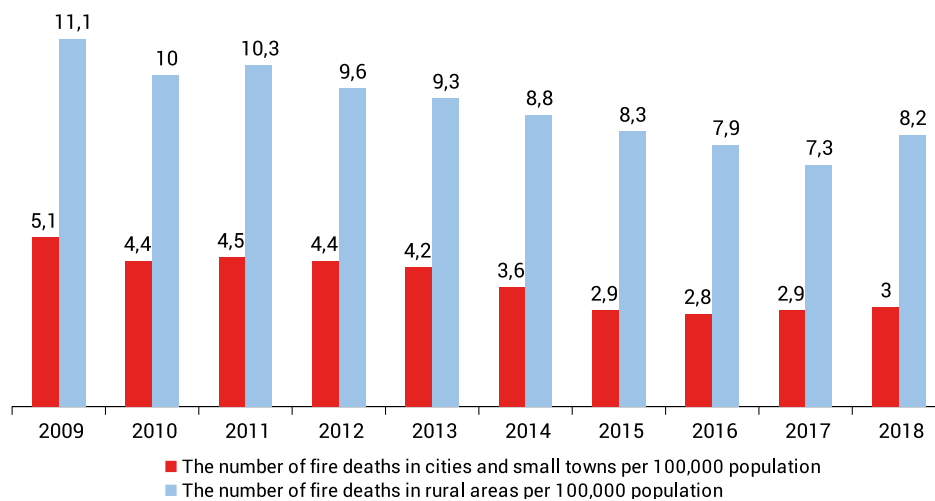


Figure 2. Trend in fire deaths per 100,000 population in cities and rural areas in 2009–2018

Source: Own elaboration.

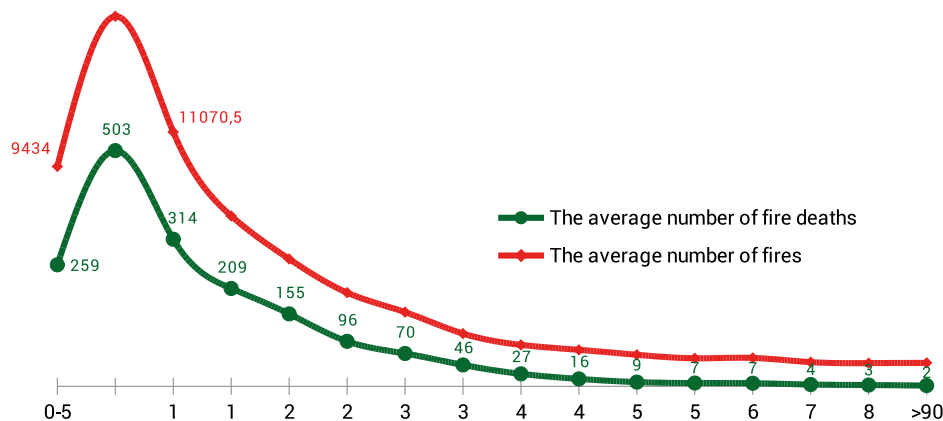


Figure 3. Trend in fires and fire deaths by the time of arrival of the first unit to fire for 2009–2018, where t, min. – is counted from the fire outbreak
Source: Own elaboration.

Conclusions

In Ukraine, in the period of 2009–2018 there was a steady trend for the number of fires to increase and for the number of fire deaths to decrease. However, the relative figures for the number of fire fatalities in Ukraine remain high and greatly exceed global statistics. This is especially due to social and economic instability and the related decrease in the level of fire safety in the state.

In Ukraine, on average, 95.5% of the total number of deaths per year, are in the residential sector. And more than 85% of people die at the site of fire before the arrival of fire and rescue units. This is due to shortcomings in the organization of public administration related to the prevention and response systems for fire hazards, and can be attributed to the following:

- outstanding issues regarding the control and responsibility for the implementation of population education on fire safety rules in the residential sector;
- lack of regular educational activities related to fire safety;
- insufficient number of fire and rescue units.

Therefore, in order to improve the situation in Ukraine, there is a need to enhance public administration in the sphere of civil protection and fire safety. This can be done through the application of public regulatory measures, such as:

- further improvement of fire reporting;
- legislative review of the Procedure and programs of population education on actions during emergencies in order to identify any issues in the education on fire safety rules in everyday life;
- secondary legislation to regulate the sphere of fire safety in respect of the introduction of systemic measures of mass educational activities in the sphere of fire safety;
- introduction of administrative and criminal liability for non-compliance with the regulatory norms for the deployment of fire and rescue units.

Literature

- [1] Statystyka pozhezh ta yikh naslidkiv v Ukrayini za 2009–2012 roky: Statystychnyy zbirnyk analitychnykh materialiv, V.S. Kropyvnyts'kyy (red.), UkrNDITsZ, Kiev 2018, 102.
- [2] Statystyka pozhezh ta yikh naslidkiv v Ukrayini za 2013–2016 roky: Statystychnyy zbirnyk analitychnykh materialiv, V.S. Kropyvnyts'kyy, UkrNDITsZ, Kiev 2018, 100.
- [3] Klymas' R.V., Matviychuk D.Ya., Odynets' A.V., Nesenyuk L.P., *Analiz statystychnykh danykh shchodo reahuvannya na nebezpechni podiyi, pov'yazani z pozhezhamy, v Ukrayini, w: Zapobihannya nadzvychaynym sytuatsiyam i yikh likvidatsiya*. Materialy naukovo-praktychnoho seminaru. NUTsZU, Kharkiv 2019, 76–78.
- [4] Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P., *World Fire Statistics. Report No. 23.*, International Association of Fire and Rescue Services (CTIF) 2018, 62.
- [5] Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 26 hrudnya 2003 r. No. 2030 Pro zatverdzhennya Poryadku obliku pozhezh ta yikh naslidkiv (Ofitsiyyny visnyk Ukrayiny, 2003 r., No. 52, 2802).
- [6] Postanova Kabinetu Ministriv Ukrayiny vid 03 veresnya 2009 r. No. 944 Pro vnesennya zmin do Poryadku obliku pozhezh ta yikh naslidkiv (Ofitsiyyny visnyk Ukrayiny, 2009 r., No 68, 2359).

- [7] Zvit pro naukovo-doslidnu robotu Provesty doslidzhennya ta naukovo obgruntuvaty shlyakhy udoskonalennya obliku pozhezh ta yikh naslidkiv v Ukraini, UkrNDITsZ, Kiev 2017, 1049.
- [8] Klymas' R.V., Odynets' A.V., Matviychuk D.Ya., Nesenyuk L.P., Analiz normatyvu chasu prybuttya pershoho pozhezhno-ryatuval'noho pidrozdilu na pozhezhi v Ukraini, Teoriya i praktyka hasinnya pozhezh ta likvidatsiyi nadzvychnykh sytuatsiy: Materialy X Mizhnarodnoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi, ChIPB im. Heroyiv Chornobylya NUTsZ Ukrainy, Cherkasy 2019, 32–34.

NATALIA IVASHYNA – lieutenant of civil protection service, Chief of International Cooperation Sector, the Ukrainian Civil Protection Research Institute. Scientific interests: implementation of information retrieval and analysis of foreign programmes, grants, commercial scientific technical programmes and crowdfunding projects.

OLEKSANDR BORYS, PH.D. – colonel of civil protection service, Deputy Head of the Ukrainian Civil Protection Research Institute, Scientific interests: organization of the activities of fire service, technical regulation in the sphere of civil protection, fire-proofing of buildings, fire-fighting equipment and clothing.

ALLA ODYNETS – lieutenant colonel of civil protection service, fellow of Research and Fire Statistics Branch of Research Center of Technical Regulation, the Ukrainian Civil Protection Research Institute. Scientific interests: conducting the state statistical recording of fires through the collection, generalization, processing and preparation of information about fires and their consequences in Ukraine.



OFERUJEMY USŁUGI W ZAKRESIE:

- doradztwa technicznego w zakresie doboru BSP i osprzętu do różnych zastosowań i potrzeb klienta
- testowania wyrobów i produktów innowacyjnych dla rekomendacji do stosowania w ochronie poż
- certyfikacji dobrowolna BSP
- realizacji projektów międzynarodowych i krajowych
- wykonywania pomiarów zanieczyszczeń powietrza
- organizacji specjalistycznych warsztatów dotyczących BSP i ich zastosowań
- analizy ryzyka dla specjalistycznych operacji z użyciem BSP

Więcej informacji na
www.cnbop.pl/centrumdronow

Grzegorz Sobolewski^{a)}^{a)} Main School of Fire Service / Szkoła Główna Służby Pożarniczej^{*} Corresponding author / Autor korespondencyjny: gsobolewski@sgsp.edu.pl

Systemic Approach to Civil Protection in Poland

Ujęcie systemowe ochrony ludności w Polsce

ABSTRACT

Introduction: In Poland, the security of the State and its citizens is the responsibility of the national security system. One of its major parts is civil protection (public security). The framework used to ensure civil security is the civil protection system, with life-saving as its primary concern.

Aim: The primary goal of this study was to identify the civil protection system within the domain of Poland's national security, to describe its mission and range of responsibilities, and to suggest what should be changed. The main research problem, as addressed by this study, was expressed as the following questions: What function does the civil protection system currently serve within Poland's national security? What are its core focus and responsibilities, and what are its development needs and priorities?

Results: For this study, it was assumed that the core focus of civil protection were actions designed to reduce any possible risks to human life or health (prevention and counter measures), and once such risks materialise, to provide efficient response to ensure effective security. In a broader sense, civil protection within national security can be considered as a set of nationwide measures intended to ensure the safety of all citizens, property and the environment. In view of the above, civil protection can be understood as the set of measures implemented by government and local-government administration, plus any security-related capabilities and measures (national resources), allocated or set up to prevent, prepare for or respond to any security risks, or to restore any victim population to normal functioning. It was assumed that a civil protection system is an internally coordinated system of capabilities, measures and resources designed to prevent any risks to civil security, and to provide expeditious response to situations that might put citizens' lives or health at risk. Today, this system is significantly fragmented, and civil protection is often intermingled with such areas as crisis management, public security, safe and secure public environment, and national defence. An effective civil protection system should be an interdisciplinary and well-integrated system capable of responding to any current and expected civil security challenges and threats across various national circumstances.

Keywords: national security, national security system, security risks, crisis management, civil protection, life-saving, public authorities, civil protection system, control sub-system, executive bodies

Type of article: original scientific article

Received: 14.11.2019; Reviewed: 17.12.2019; Accepted: 30.12.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0002-4484-450X;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 116–131, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.9>;

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

ABSTRAKT

Wprowadzenie: W Polsce za bezpieczeństwo państwa i jego obywateli odpowiedzialny jest system bezpieczeństwa narodowego. W jego strukturze możemy wyróżnić bardzo istotny element, jakim jest ochrona ludności (bezpieczeństwo powszechne). Organizacyjną postacią zapewnienia bezpieczeństwa ludności jest system ochrony ludności, a jego wiodącą dziedziną – ratownictwo.

Cel: Zasadniczy cel badań prezentowanych w artykule zawierał się w identyfikacji systemu ochrony ludności w obszarze bezpieczeństwa narodowego RP, przedstawieniu jego misji i zakresu działań oraz określeniu pożądanych kierunków zmian. Główny problem badawczy wyrażono w postaci pytań: Jaką funkcję spełnia obecnie system ochrony ludności w bezpieczeństwie narodowym Polski? Co stanowi jego przedmiot działań oraz jakie istnieją potrzeby i priorytety rozwoju?

Wyniki: W rozważaniach przyjęto założenie, że istotą ochrony ludności jest działalność mająca na celu obniżanie ryzyka zagrożeń dla życia i zdrowia człowieka (profilaktyka i prewencja), a w przypadku ich wystąpienia sprawne reagowanie, które powinno objawiać się skuteczną ochroną. W ujęciu szerokim ochroną ludności w bezpieczeństwie narodowym można traktować jako zespół przedsięwzięć państwa, których celem jest zapewnienie bezpieczeństwa obywateli, mienia i środowiska. Wobec tego ochronę ludności możemy interpretować jako zestaw działań administracji rządowej i samorządowej oraz działalność sił i środków (zasobów państwa) w zakresie bezpieczeństwa, wykonywanych z zamiarem zapobiegania, przygotowania, reagowania i odtworzeniu równowagi funkcjonowania poszkodowanej ludności. Przyjęto, że system ochrony ludności to skoordynowany wewnętrznie układ wydzielanych przez państwo sił i środków oraz zasobów ukierunkowanych na zapobieganie powstawaniu zagrożeń bezpieczeństwa ludności, a także sprawnym reagowaniu na sytuacje zagrażające zdrowiu i życiu obywateli. Współcześnie ów system jest bardzo rozproszony i często problematyka ochrony ludności przeplata się z zagadnieniami z zakresu zarządzania kryzysowego, bezpieczeństwa publicznego, bezpieczeństwa społecznego i obronności państwa. Można przyjąć, że poprawnie funkcjonujący system ochrony ludności powinien mieć charakter interdyscyplinarny, zintegrowany, a także być zdolny do odpowiedzi na aktualne oraz prognozowane wyzwania i zagrożenia bezpieczeństwa ludności w różnych stanach funkcjonowania państwa.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo narodowe, system bezpieczeństwa narodowego, zagrożenia bezpieczeństwa, zarządzanie kryzysowe, ochrona ludności, ratownictwo, organy administracji publicznej, system ochrony ludności, podsystem kierowania, podmioty wykonawcze

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 14.11.2019; **Zrecenzowany:** 17.12.2019; **Zatwierdzony:** 30.12.2019;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0002-4484-450X

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 116–131, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.9>;

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

Introduction

The security-related needs of the State and society are generally a by-product of dynamically changing challenges and risks. Indeed, those create the need for systemic solutions for security management and for having a system that would be capable of reducing the risk associated with possible threats and emergency situations that could put people in danger, while also responding efficiently and restoring normal balance (the state and sense of security). In Poland, this role is fulfilled by the national security system whose primary objective is to guarantee the existence, maintenance and survival, to ensure normal functioning, and to create opportunities for uninhibited growth. Civil protection is a crucial mission implemented by public authorities to provide national security, and includes the capabilities and resources allocated for this purpose.

National security system as the framework for protecting people

In an attempt to define national security, the literature on the subject suggests that this concept can be explained in more detail by reference to challenges, threats, and opportunities [1, pp. 19–20]. What is specifically emphasised is the ability to recognise these and take preventive measures, reduce the risk of threats materialising, take on challenges, take up opportunities, prevent any risks, and provide protection against risks to ensure a risk-free environment and create a sense of safety. Other aspects that help further clarify the concept of national security are related to the needs, values, interests, and goals of both a given society and its State, the confidence in its existence and possessing, the ability to survive and grow, the maintenance of national balance, and the protection of society and the environment against threats. Using certain generalisations, one could assume that national security is the ability of the State and society to take on challenges, take up opportunities, reduce risks, and counteract threats. Security can thus be described as the ability to ensure the existence, possessing and survival, normal functioning, and uninhibited growth.

This study shows that the national security system has often been put by many theoreticians on equal footing with the

Wprowadzenie

Potrzeby w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa państwa i społeczeństwa wynikają głównie z dynamicznego tempa zmian w sferze wyzwań i zagrożeń. One też powodują konieczność posiadania systemowych rozwiązań w zakresie zarządzania bezpieczeństwem, funkcjonowania systemu, który byłby zdolny do obniżenia ryzyka związanego z możliwością wystąpienia zagrożeń i powstaniem sytuacji kryzysowej zagrażającej ludziom oraz sprawnego reagowania i powrotu do równowagi funkcjonowania (odtworzenie stanu i poczucia bezpieczeństwa). W Polsce taką rolę spełnia system bezpieczeństwa narodowego, którego zasadniczym celem jest uzyskanie gwarancji istnienia, posiadania i przetrwania, zapewnienie niezakłóconego funkcjonowania społeczeństwa oraz stworzenie możliwości swobodnego rozwoju. Ochrona ludności stanowi jedną z zasadniczych misji realizowanych przez organy administracji publicznej. To także siły i środki, jakie państwo przeznacza na ten cel.

System bezpieczeństwa narodowego jako środowisko ochrony ludności

W literaturze przedmiotu bezpieczeństwo narodowe interpretowane jest z wykorzystaniem odniesień do wyzwań, zagrożeń i szans [1, s. 19–20]. W szczególności podkreśla się zdolność do: „ich rozpoznawania i skutecznego przeciwdziałania; redukcji ryzyka powstania zagrożeń; podejmowania wyzwań, wykorzystywania szans oraz przeciwdziałania wszelkiego rodzaju zagrożeniom; ochrony przed zagrożeniami, wolności od zagrożeń i poczucia niezagrażenia”. Kolejny obszar dookreślający bezpieczeństwo narodowe związany jest z: „potrzebami, wartościami, interesami oraz celami społeczeństwa i państwa; pewnością istnienia i posiadania; zdolnością do przetrwania i rozwoju; zachowaniem równowagi funkcjonowania państwa; zapewnieniem ochrony społeczeństwa i środowiska wobec zagrożeń”. Na podstawie pewnych uogólnień można przyjąć, iż bezpieczeństwo narodowe to możliwość państwa i społeczeństwa do podejmowania wyzwań, wykorzystywania szans i redukcji ryzyka oraz przeciwdziałania zagrożeniom. Bezpieczeństwo wyrażać się będzie zdolnością do zapewnienia istnienia, posiadania i przetrwania, niezakłóconym funkcjonowaniem (bytem) oraz możliwością swobodnego rozwoju.

Przeprowadzone badania wskazują, że często system bezpieczeństwa narodowego przez wielu teoretyków utożsamiany jest

State's security system while under certain circumstances the two terms can actually be considered distinct. For instance, State's goals and interests do not necessarily have to be aligned with society's (nation's) goals. However, in a democratic State, individual and institutional interests altogether make up national interests and goals that should be aligned with the State's security policy. What is the fundamental entity of national security are people, considered as social beings, or specific communities. If, however, the State, as an organisation, is assumed to be that entity, then its actions (or activities) should be aimed at protecting and defending its current national interests, and at ensuring the viability of growth prospects and strategic goals. The State, defined as a territorial and sovereign organisation, operates for the benefit of the people living within its territory [2]. It thus has a specific territory that is inhabited by people, or a population, with shared history, culture, values, etc. Moreover, the State is characterised by sovereignty and most of its functions should embrace security. Without security, it can be difficult to operate efficiently and sustainably in various areas. In a democratic and responsible State, security should be of overriding importance compared to other functions.

In order to make both the internal and external conditions conducive to the development of the State, its vital interests, and protection and defence against any existing threats, people develop what is known as the national security system. It can be described as an internally coherent set of capabilities, measures and resources, allocated by the State for defence and protection against threats. Its primary mission is to be able to ensure the security of the State and society across various national circumstances. The security theory identifies three such circumstances, namely peace, crisis, and war. What seems to provide a more accurate description is the outline of the existing circumstances and situations. Normal situation (PEACE) – the State functions normally (is in equilibrium), with no adverse factors or threats at work. Crisis situation (CRISIS) – when the State, or its part, is thrown off balance as a result of some threat (a negative impact); in many cases, while the threat escalates, the State loses control over the situation and has to take extraordinary actions to restore its balance [3–5]. Danger-of-war situation (WAR) – when the State's vital interests are at risk (sovereignty, independence, territory); military risks escalate and the State often loses control over the situation.

Any contemporary national security system should address various challenges and risks. In addition, such systems should be capable of taking advantage of any opportunities, and anticipate risks and successfully prevent or respond to any military and non-military threats. The national security system consists of (Figure 1) a control subsystem and executive subsystems (defence, protection, social, and economic).

z systemem bezpieczeństwa państwa. W pewnych uwarunkowaniach możemy zauważyć istniejącą odrębność używanych pojęć. Przykładowo cele i interesy państwa nie muszą być zbieżne z celami społeczeństwa (narodu). Jednak w państwie demokratycznym suma interesów jednostkowych i instytucjonalnych tworzą interesy oraz cele narodowe, które powinny być zbieżne z założeniami polityki bezpieczeństwa państwa. Podstawowym podmiotem bezpieczeństwa narodowego jest człowiek, traktowany jako jednostka społeczna, a także jako określona zbiorowość społeczna. Natomiast jeżeli przyjmiemy, że podmiotem bezpieczeństwa jest państwo (jako organizacja), to jego działalność (aktywność) powinna być ukierunkowana na obronę i ochronę aktualnych interesów narodowych oraz zapewnienie możliwości rozwoju i realizacji celów strategicznych. Państwo – rozumiane jako terytorialna i suwerenna organizacja, działająca w interesach ludzi zamieszkujących określone terytorium [2]. Tak więc państwo posiada określone terytorium, na którym zamieszkują ludzie (ludność), o wspólnej historii, kulturze, wartościach itd. Ponadto charakteryzuje się suwerenną władzą. Większość funkcji państwa powinna zawierać w sobie element bezpieczeństwa, bez bezpieczeństwa trudno jest trwale i skutecznie funkcjonować w różnych obszarach. W demokratycznym i odpowiedzialnym państwie powinno mieć ono charakter nadrzędny wobec pozostałych funkcji.

W celu sprawnego zapewnienia wewnętrznych i zewnętrznych warunków sprzyjających rozwojowi państwa, jego życiowym interesom oraz ochrony i obrony przed istniejącymi zagrożeniami tworzy się tzw. system bezpieczeństwa narodowego. Może być on interpretowany jako skoordynowany wewnętrznie zbiór wydzielanych przez państwo i społeczeństwo sił, środków oraz zasobów przeznaczonych do wypełniania funkcji ochronnej i obronnej wobec zagrożeń. Zasadniczą jego misją będzie zdolność do zapewnienia bezpieczeństwa państwa i społeczeństwa w różnych stanach funkcjonowania państwa. W teorii bezpieczeństwa przyjmuje się trzy stany funkcjonowania państwa. Są nimi pokój, kryzys i wojna. Bardziej precyzyjne, zdaniem autora, jest posługiwanie się określeniem istniejących uwarunkowań i sytuacji. W sytuacji normalnej (POKÓJ) państwo funkcjonuje bez zakłóceń (występuje równowaga funkcjonowania), nie wpływają na nie czynniki destrukcyjne (zagrożenia). O sytuacji kryzysowej (KRYZYS) mówimy, kiedy dochodzi do zachwiania równowagi funkcjonowania państwa (lub jego części) w wyniku jakiegoś zagrożenia (pojawia się negatywne oddziaływanie). Często może nastąpić eskalacja zagrożeń, utrata możliwości kontroli nad przebiegiem wydarzeń, co generuje potrzebę podjęcia nadzwyczajnych działań w celu powrócenia do równowagi funkcjonowania [3–5]. Sytuacja zagrożenia wojennego (WOJNA) zachodzi, kiedy zagrożone są żywotne interesy państwa (suwerenność, niepodległość, terytorialność), następuje eskalacja zagrożeń militarnych i często dochodzi do utraty kontroli nad przebiegiem wydarzeń.

Współczesna organizacja systemu bezpieczeństwa narodowego powinna odpowiadać na różnorodne wyzwania i zagrożenia. Ponadto ów system powinien być zdolny do wykorzystania pojawiających się szans, a także przewidywać ryzyko oraz skutecznie przeciwdziałać i reagować na pojawiające się zagrożenia militarne i niemilitarne. System bezpieczeństwa narodowego składa się z (ryc. 1) podsystemu kierowania i podsystemów wykonawczych (obronnego, ochronnego, społecznego i gospodarczego).

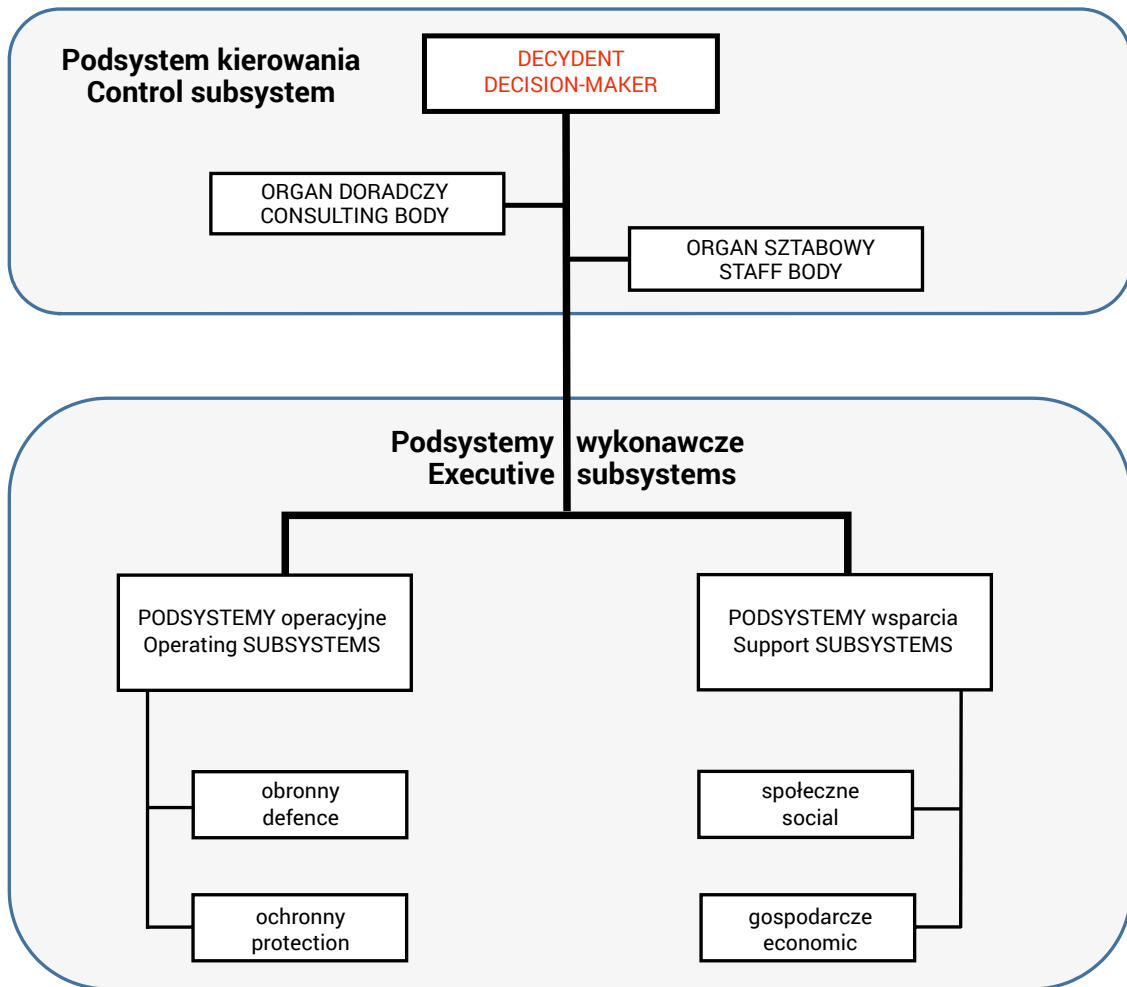


Figure 1. Structure of the national security system

Rycina 1. Struktura systemu bezpieczeństwa narodowego

Source/Źródło: Own elaboration based on/Opracowanie własne na podstawie: Biała księga bezpieczeństwa narodowego RP, Warszawa 2013 [6, s. 36]

The control subsystem (Figure 2), which is responsible mainly for security management, should make it easy to efficiently make decisions about how to ensure and maintain national security, and to control the executive subsystems. National security management involves top government bodies in the development and implementation of national security with regard to the State's functional and structural framework [7]. The control subsystem includes public government bodies and managers of organisational units that serve national security roles, as well as advisory bodies and administration apparatus (consulting and staff bodies), procedures and relationships, and control infrastructure (command posts, headquarters, and communication systems) [8].

Podsystem kierowania (ryc. 2), którego głównym przeznaczeniem jest zarządzanie bezpieczeństwem, powinien stwarzać możliwość sprawnego podejmowania decyzji w zakresie zapewnienia i utrzymania bezpieczeństwa narodowego oraz kierowania funkcjonowaniem podsystemów wykonawczych. Zarządzanie bezpieczeństwem narodowym to działalność kierownicza najwyższych organów państwowych w zakresie opracowania i realizacji strategii bezpieczeństwa narodowego, w otoczeniu funkcjonalnym i strukturalnym państwa [7]. Podsystem kierowania obejmuje organy władzy publicznej i kierowników jednostek organizacyjnych, które wykonują zadania związane z bezpieczeństwem narodowym, wraz z organami doradczymi i aparatem administracyjnym (doradczym, sztabowym) oraz procedurami i relacjami funkcjonowania, jak też infrastrukturą kierowania (stanowiska i centra kierowania oraz systemy łączności) [8].

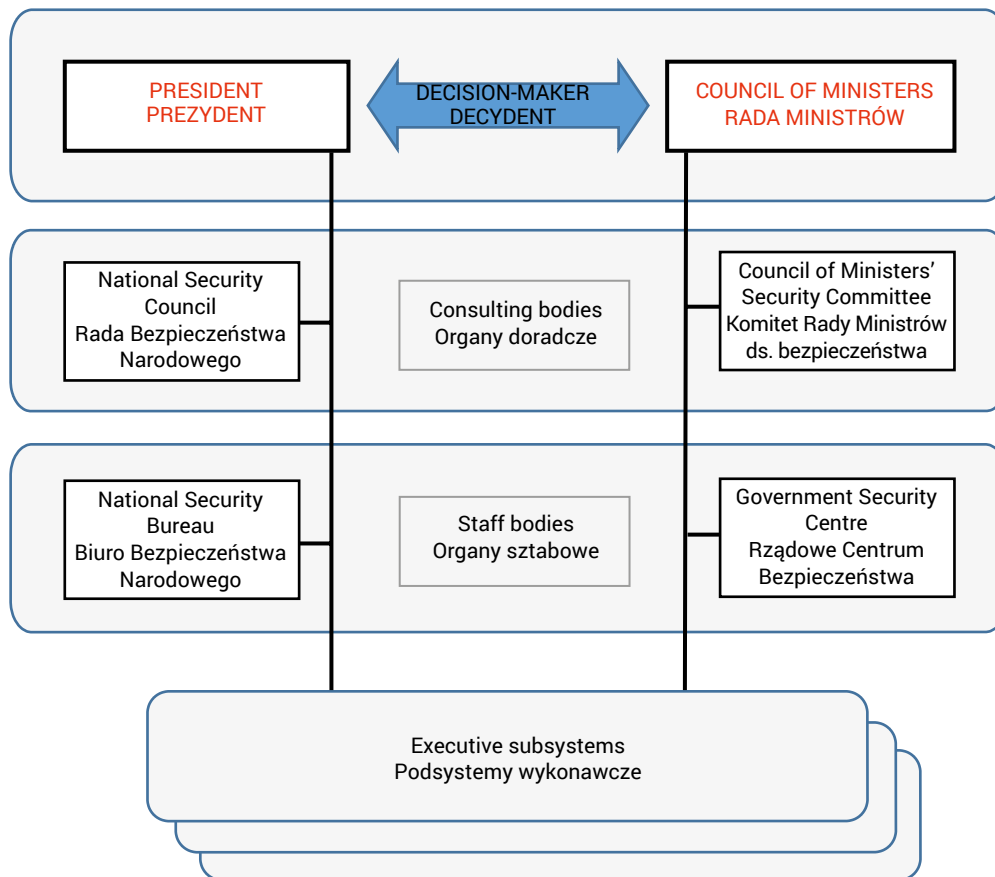


Figure 2. Poland's national security control structure at the central level

Rycina 2. Struktura kierowania bezpieczeństwem narodowym RP na poziomie centralnym

Source/Źródło: Own elaboration based on/Opracowanie własne na podstawie: Biała księga bezpieczeństwa narodowego RP, Warszawa 2013 [8, s. 37]; W. Kitzler, *Organizacja bezpieczeństwa narodowego Rzeczypospolitej Polskiej*, Wyd. Adam Mardzałek, Toruń 2018 [9, s. 13].

Executive subsystems can be described as the capabilities and resources allocated by the State to implement its statutory security goals, and available to security management authorities [10]. The overriding goal of such subsystems is to promptly detect and prevent any security threats, and once these actualise, to prevent their negative consequences. There are two types of executive subsystems – operating and support subsystems.

Operating subsystems include the defence and protection subsystems (see Figure 1). The former is military in nature and its purpose is to take up opportunities, take on challenges, reduce risks, and counter (prevent and resist) external political and/or military threats. The defence subsystem is made up of controls, the border service, diplomacy aimed at military security, executive capabilities and resources (both military and non-military), and the armaments industry. Industrial military capacity means all tangible and non-tangible resources provided by the Polish industry which satisfy the State's defence needs, including those of Poland's Armed Forces, in terms of weapons and military equipment.

Dokonując próby interpretacji podsystemów wykonawczych, można uznać, iż są to wyodrębnione przez państwo siły i środki, przewidziane do realizacji ustawowo określonych zadań w dziedzinie bezpieczeństwa, pozostające w dyspozycji organów kierowania bezpieczeństwem [10]. Zasadniczym zadaniem podsystemów wykonawczych jest wczesne rozpoznawanie wyzwań i zapobieganie zagrożeniom bezpieczeństwa, a w razie ich wystąpienia – przeciwdziałanie ich negatywnym następstwom. Wyróżnia się dwa rodzaje podsystemów wykonawczych: operacyjne oraz wsparcia.

Podsystemy operacyjne tworzą podsystem obronny i podsystem ochronny (zob. ryc. 1). Pierwszy ma charakter militarny i jest przeznaczony do wykorzystywania szans, podejmowania wyzwań, redukcji ryzyka i przeciwdziałania (zapobiegania i przeciwstawiania się) zewnętrznym zagrożeniom o charakterze polityczno-militarnym. Podsystem obronny tworzą elementy kierowania, służba zagraniczna, dyplomacja działająca na rzecz bezpieczeństwa militarnego, siły i środki wykonawcze (militarne i niemilitarne) oraz przemysł zbrojny. Przemysłowy potencjał militarny to wszystkie zasoby materialne i niematerialne polskiego przemysłu, które zaspokajają potrzeby obronne państwa – w tym również

The State and citizen protection subsystem (non-military, civil security) – designed to take up opportunities, take on challenges, reduce risks, and counter (prevent and resist) non-military (civil) internal and external threats [8]. The protection subsystem ensures that the State and its citizens are in equilibrium by preventing, preparing for, and successfully responding to, any emergency (or crisis) situations. This subsystem includes the judiciary, government authorities, guards and inspectorates specialising in security and public order protection, civil protection and rescue services, crisis management components, border services, and other institutions, such as the road inspectorate, the construction supervision authority, etc., directly or indirectly responsible for public security protection.

Support subsystems include social and economic subsystems. The former, understood as the social potential, including human capital, constitutes an important driver for the national economy and performance level. It includes the national heritage protection system, safety education institutions, media within the national security system, prevention of demographic threats, and welfare. The latter is referred to as the economic potential, and its overarching goal is to develop and deploy relevant strategies and programmes to ensure that businesses can safely operate within the State during the times of peace, crisis, and war. Its responsibility is, generally speaking, to provide economic support to the operating subsystems of the national security system. It includes financial security institutions, power security operators, the strategic reserve system, and natural environment protection organisations.

Core focus and essence of civil protection

The structure of the national security system has a very crucial element, namely civil protection (public security). The framework used to ensure civil security is the civil protection system, with life-saving as its primary concern. With the unpredictable and indeterminate hazards of today, the reality around us is full of situations that upset and disturb our everyday lives, and, as such, require appropriate responses to allow us to restore normal balance.

Such events can certainly be addressed by civil protection, in its broad sense. The core focus of civil protection are actions designed primarily to reduce any possible risks to human life or health (prevention and counter measures), and once such risks materialise, to provide efficient response to ensure effective security. The main objectives in civil protection can be divided into two categories. The first, which can be described as prevention and preparation measures, includes such actions as [11]:

- analysing and assessing possible risks;
- anticipating and monitoring any risks;

potrzeby Sił Zbrojnych RP– w zakresie wyposażenia w uzbrojenie i sprzęt wojskowy.

Podsystemem ochronny państwa i jego obywateli (bezpieczeństwa cywilnego, pozamilitarnego) jest przeznaczony do wykorzystywania szans, podejmowania wyzwań, redukcji ryzyka i przeciwdziałania (zapobiegania i przeciwstawiania się) zewnętrznym i wewnętrznym zagrożeniom o charakterze niemilitarnym (cywilnym) [8]. Podsystemem ochronny zapewnia równowagę funkcjonowania państwa i jego obywateli poprzez zapobieganie, przygotowanie i skuteczne reagowanie na sytuacje kryzysowe. Podsystem ten tworzą: wymiar sprawiedliwości; służby państwowe, straże i inspekcje wyspecjalizowane w ochronie bezpieczeństwa i porządku publicznego; służby ratownictwa i ochrony ludności; elementy zarządzania kryzysowego; służby graniczne; inne instytucje, których pośrednim lub bezpośrednim zadaniem jest ochrona bezpieczeństwa publicznego (np. inspekcja drogowa, nadzór budowlany, itp.).

Podsystemy wsparcia obejmują podsystemy: społeczny i gospodarczy. Pierwszy rozumiany jako potencjał społeczny – w tym także kapitał ludzki – jest ważnym czynnikiem warunkującym rozwój gospodarki narodowej, sprawności funkcjonowania państwa. Obejmuje on system ochrony dziedzictwa narodowego; instytucje edukacji dla bezpieczeństwa; media w systemie bezpieczeństwa narodowego; przeciwdziałanie zagrożeniom demograficznym; bezpieczeństwo socjalne. Drugim podsystemem wsparcia jest potencjał gospodarczy, którego zasadniczym celem jest opracowanie i wdrożenie odpowiednich strategii i programów zapewnienia bezpiecznego funkcjonowania podmiotów gospodarczych państwa w czasie pokoju, sytuacji kryzysowych i wojny. Istota zadań sprowadza się do wsparcia gospodarczego operacyjnych podsystemów systemu bezpieczeństwa narodowego. Obejmuje on instytucje bezpieczeństwa finansowego, podmioty bezpieczeństwa energetycznego, system rezerw strategicznych, podmioty ochrony środowiska naturalnego.

Ochrona ludności: istota i zakres działań

W strukturze systemu bezpieczeństwa narodowego możemy wyróżnić bardzo istotny jego element, jakim jest ochrona ludności (bezpieczeństwo powszechne). Organizacyjną postacią zapewnienia bezpieczeństwa ludności jest system ochrony ludności, a jego wiodącą dziedziną – ratownictwo. Nieprzewidywalność i nieokreśloność współczesnych zagrożeń sprawiają, iż otaczająca nas rzeczywistość obfituje w liczne sytuacje, które zaburzają nasze codzienne życie, a w związku z tym wymagają podejmowania stosownych działań w celu przywrócenia stanu równowagi funkcjonowania.

Odpowiedzią na tego typu zdarzenia jest niewątpliwie szeroko rozumiana ochrona ludności. Istotą ochrony ludności jest działalność mająca na celu w szczególności obniżanie ryzyka możliwości powstania zagrożeń dla życia i zdrowia człowieka (profilaktyka i prewencja), a w przypadku ich wystąpienia sprawne reagowanie, które powinno objawiać się skuteczną ochroną. Główne zadania w ramach ochrony ludności możemy podzielić na dwa etapy. Pierwszy – traktowany jako działania zapobiegawczo-przygotowawcze – spełnia główne zadania polegające na [11]:

- taking preventive measures to reduce risks;
- planning response measures;
- preparing organisational support for response procedures, including
 - evacuation sites and resources;
 - resources to support everyday life;
- providing training for civil protection institutions, including drills;
- preparing civil protection and civil defence resources;
- educating the public on civil protection and civil defence, and raising the awareness of potential risks and appropriate behaviours;

The second category of civil protection measures are rescue and restoration measures, including such actions as [11]:

- detecting and identifying risks;
- warning, notifying and alerting people of any risks;
- responding to emergency situations, with relevant civil protection organisations taking rescue actions;
- ensuring public order and security, including a stable policy for notifying people of any emergencies and casualties;
- taking other steps necessary to support the above-mentioned goals, including planning and organisation.

Civil protection can be understood as the set of measures implemented by government and local-government administration, plus any security-related capabilities and measures (national resources), allocated or set up to prevent, prepare for, or respond to any security risks, or to efficiently and effectively restore balance after an emergency. In a broader sense, civil protection within national security can be considered as a set of projects intended to ensure the safety of all citizens, property and the environment (Figure 3).

- analizie i ocenie ryzyka wystąpienia zagrożeń;
- prognozowaniu i monitorowaniu zagrożeń;
- działaniach prewencyjnych zmniejszających ryzyko powstania zagrożeń;
- planowaniu działań w postaci reagowania;
- przygotowaniu organizacyjnym do reagowania polegających w głównej mierze na:
 - przygotowaniu miejsca i warunków do ewakuacji;
 - przygotowaniu warunków funkcjonowania ludności;
- prowadzeniu szkoleń podmiotów ochrony ludności, w tym organizowanie ćwiczeń;
- przygotowaniu zasobów służących ochronie ludności i obronie cywilnej;
- prowadzeniu edukacji społeczeństwa w zakresie ochrony ludności i obrony cywilnej, w tym kształtowanie świadomości zagrożeń i adekwatnych zachowań;

Drugim etapem działań w ramach ochrony ludności będą działania ratowniczo-odtworzeniowe. Do ich głównych zadań zaliczają się [11]:

- wykrywanie i rozpoznanie zagrożeń;
- ostrzeganie powiadamianie i alarmowanie ludności o zagrożeniu;
- reagowanie na powstałą sytuację w postaci podejmowania działań ratowniczych przez właściwe podmioty systemu ochrony ludności (w zależności od potrzeb);
- zapewnienie bezpieczeństwa i porządku publicznego, w tym też prowadzenie statecznej polityki informacyjnej o zaistniałej sytuacji i osobach poszkodowanych;
- realizacja innych działań niezbędnych do wypełnienia wyżej wymienionych zadań, w tym planowanie i prace organizacyjne.

Ochronę ludności możemy więc interpretować jako zestaw działań administracji rządowej i samorządowej oraz używanie sił i środków (zasobów państwa) w zakresie bezpieczeństwa, z zamiarem zapobiegania, przygotowania, reagowania i odtworzenia równowagi w sposób sprawny i skuteczny w razie wystąpienia zagrożeń. W ujęciu szerokim ochronę ludności w bezpieczeństwie narodowym można traktować jako zespół przedsięwzięć, których celem jest zapewnienie bezpieczeństwa ludzi, ale też mienia i środowiska funkcjonowania człowieka (ryc. 3).

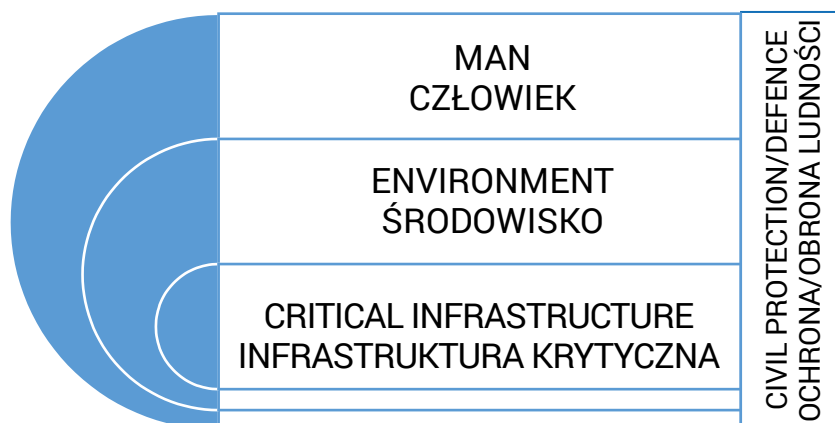


Figure 3. Areas covered by civil protection

Rycina 3. Obszary oddziaływania ochrony ludności

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Civil protection involves actions by public authorities and institutions responsible for the protection of human life and health, as related to risk prevention, and once such risks actualise, for efficient response. In summary, today civil protection is understood as

- an integral part of national security, often realised as security management during times of peace (normal functioning), in situations involving risks to public security (abnormal functioning as a result of some threat), or civil protection during war,
- measures to ensure the security of people (society) and the natural environment in which they live, and the property they have,
- operations which include planning and prevention (prevention measures to reduce the likelihood of risks to human life or health, and situations that can be dangerous to security), as well as rescue and restoration (responses – taking control and restoring normal balance),
- a process that includes four steps of efficient management, namely planning, organising, motivating, and controlling, which are related to the organisational resources (executive bodies – human, financial, material, and informational) allocated with the aim of preventing, preparing for action, responding and restoring functional balance.

This study shows that civil protection can be considered as State activities (mainly those by public authorities, along with capabilities and resources at the State's disposal) to protect the life and health of its population against possible threats. Obviously, this also includes the protection of property and the natural environment, as elements necessary for people to function safely. Civil protection is realised across three national circumstances (peace, crisis, and war), but during war it takes the form of civil defence.

Civil protection can be considered as a broad spectrum of activities to protect citizens in normal, everyday situations which involve no significant threats, with both the State and its citizens functioning normally; in crisis situations brought about by non-military threats which cause abnormal functioning and create the need for extraordinary measures; and in military risk situations / danger-of-war situations, i.e., during martial law or war (Figure 4).

Ochrona ludności jest więc działalnością organów administracji publicznej i podmiotów realizujących zadania w celu ochrony życia i zdrowia człowieka, przeciwdziałania zagrożeniom – a w przypadku ich powstania – skutecznego reagowania. Dokonując podsumowania współczesnej interpretacji ochrony ludności, można przyjąć, że jest ona:

- integralną częścią bezpieczeństwa narodowego, często wyrażającą się jako zarządzanie bezpieczeństwem w czasie pokoju (sytuacjach normalnego funkcjonowania), sytuacjach powstania zagrożeń bezpieczeństwa ludności (zaburzenie równowagi ich funkcjonowania w wyniku zagrożeń) oraz w czasie wojny,
- działaniem ukierunkowanym na zapewnienie bezpieczeństwa: ludzi (społeczeństwa), środowiska naturalnego, w którym funkcjonują ludzie i mienia, które posiadają,
- działaniem, w którym można wyróżnić etap planistyczno-zapobiegawczy (działania prewencyjne, zmniejszające prawdopodobieństwo zagrożenia życiu i zdrowiu ludności oraz powstania sytuacji zagrażającej bezpieczeństwu) i etap ratowniczo-odtworzeniowy (reagowania: przejęcie kontroli i przywracanie stanu równowagi funkcjonowania),
- procesem składającym się z czterech faz sprawnego zarządzania: planowania, organizowania, motywowania i kontroli, skierowanych na zasoby organizacji (podmioty wykonawcze: ludzkie, finansowe, rzeczowe i informacyjne), wykonywanych z zamiarem zapobiegania, przygotowania do działań, reagowania i powrotu do równowagi funkcjonowania.

Uzyskane wyniki badań wskazują, że ochronę ludności możemy traktować jako działalność państwa (głównie działalność organów administracji publicznej oraz sił i środków, jakimi państwo dysponuje) na rzecz ochrony zdrowia i życia ludności przed możliwymi zagrożeniami. Oczywiście proces ten obejmuje również ochronę mienia i środowiska naturalnego jako warunek niezbędny do bezpiecznego funkcjonowania ludności. Proces ochrony ludności realizowany będzie w trzech stanach funkcjonowania państwa (pokój, kryzys i wojna), z tym że w okresie wojny przybierze on formę obrony cywilnej.

Ochronę ludności możemy traktować jako szerokie spektrum działań na rzecz ochrony obywateli w sytuacji normalnej, codziennej, przy braku istotnych zagrożeń i zachowaniu równowagi funkcjonowania państwa i jego obywateli, w sytuacjach kryzysowych spowodowanych zagrożeniami niemilitarnymi, które burzą równowagę funkcjonowania i powodują potrzebę nadzwyczajnych działań oraz w sytuacjach zagrożenia militarnego państwa tj. w stanie wojennym lub w czasie wojny (ryc. 4).



Figure 4. State circumstances in relation to civil protection and civil defence

Rycina 4. Stany funkcjonowania państwa w aspekcie ochrony ludności i obrony cywilnej

Source/Źródło: Own elaboration./Opracowanie własne.

Civil protection is provided during peace, meaning normal situations where the State and its people can function normally. Under such circumstances, there is usually no experience of any adverse effects of threats, and there may be zero issues or concerns. In such situations, the State implements prevention and counter measures to minimise the risk of crisis situations.

Crisis situations and crises (including military crises) are emergencies which can be caused by military or non-military threats. Crisis situations are circumstances where internal or external factors cause some abnormality and, frequently, the loss of control over the situation and an unacceptable level of risk to core values, interests and goals of the organisation in question, which, in turn, creates the need for extraordinary action to restore normal functioning [12]. Civil protection measures are aimed at saving people's lives and health, minimising any negative consequences, and restoring normal balance. During war, the State and its population face political and military threats, escalating into various forms of military operations and affecting vital interests of the State. The vital national interests of the Republic of Poland are to ensure the survival of the State and its citizens. Under Article 5 of the Constitution of the Republic of Poland, those include the independence and integrity of its territory, respect for human and citizen rights and freedoms, and the security of citizens and national heritage, and environmental protection through sustainable development [13]. Whether during peace or crisis, civil protection provides security against non-military threats, while during war, civil protection is realised as civil defence to provide security against military threats.

In simple terms, civil defence is about how people function during martial law or war. This includes some objectives referred to in the Act [14] on the general obligation to defend the Republic of Poland, and its secondary legislation [15], as a set of organisational and planning measures taken during times of peace to prepare the State to successfully accomplish such objectives during war. Moreover, some civil protection objectives in Poland are defined in Article 61(1) of the first supplementary document to the Geneva Convention of 12 August 1949 on the protection of the victims of international military conflicts, as drawn up in Geneva on 8 June 1977 [16–17].

This means that the State is to fulfil humanitarian objectives to protect civilians against the dangers resulting from military operations, and to overcome their immediate consequences, along with providing the conditions necessary for survival. Another area of civil defence are actions to support national defence in the event of a military threat.

To sum up, civil defence during peace is a set of organisational and planning measures to efficiently prepare the State (including all its bodies and institutions) for accomplishing civil defence goals during war. Consequently, during peace the civil protection system should provide the resources (reserves required for war) necessary to successfully accomplish the goals to secure and allow civilians to survive during war, and to serve national defence objectives.

Ochrona ludności realizowana jest w warunkach pokoju, czyli normalnej sytuacji równowagi funkcjonowania państwa i ludności. W takich warunkach zazwyczaj nie jest odczuwalne negatywne oddziaływanie zagrożeń, mogą nie występować żadne zakłócenia. W tym okresie realizowane są działania zapobiegawcze, prewencyjne, które mają zminimalizować ryzyko powstania sytuacji kryzysowych.

Sytuacja kryzysowa i kryzys (w tym też kryzys militarny) to okres, kiedy mamy do czynienia z powstaniem sytuacji kryzysowej, której źródłem mogą być zagrożenia niemilitarne lub militarne. Sytuacją kryzysową będziemy nazywali zespół okoliczności (stan), w którym w wyniku czynników zewnętrznych bądź wewnętrznych dochodzi do zachwiania równowagi funkcjonowania państwa, często utraty kontroli nad rozwojem sytuacji i powstania nieakceptowanego poziomu zagrożenia podstawowych wartości, interesów oraz celów rozpatrywanego podmiotu, co wywołuje potrzebę podjęcia nadzwyczajnych działań w celu powrotu do stanu równowagi [12]. Działania w ramach ochrony ludności są ukierunkowane na ratowanie życia i zdrowia ludności, zmniejszaniu negatywnych skutków kryzysu oraz powrót do równowagi funkcjonowania. Okres wojny to okres funkcjonowania państwa i ludności w czasie zagrożenia polityczno-militarnego, kiedy następuje eskalacja różnych form działań militarnych i zagrożone są żywotne interesy państwa. Żywotne interesy narodowe Rzeczypospolitej Polskiej związane są z zapewnieniem przetrwania państwa i jego obywateli. Zgodnie z art. 5 Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej zaliczamy do nich: niepodległość i nienaruszalność swojego terytorium, gwarancję wolności i praw człowieka i obywateli oraz bezpieczeństwa obywateli, dziedzictwa narodowego oraz zapewnienie ochrony środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju [13]. Zarówno w okresie pokoju, jak i kryzysu możemy głównie mówić o ochronie ludności przed zagrożeniami niemilitarnymi. Natomiast w czasie wojny będziemy mieli do czynienia z problematyką obrony cywilnej jako obrony ludności przed zagrożeniami militarnymi.

Obrona cywilna to w uproszczeniu okres funkcjonowania ochrony ludności w czasie stanu wojennego lub w czasie wojny. Obejmuje ona zadania, o których mowa w ustawie o powszechnym obowiązku obrony Rzeczypospolitej Polskiej [14] oraz wynikających z niej rozporządzeń w tym zakresie [15], jako zespół przedsięwzięć organizacyjno-planistycznych podejmowanych w czasie pokoju w celu przygotowania państwa do realizacji tych zadań w czasie wojny. Ponadto zadania w ramach ochrony ludności w Polsce wynikają z art. 61 lit. (a), I-go protokołu dodatkowego do Konwencji genewskich z dnia 12 sierpnia 1949 r. dotyczącego ochrony ofiar międzynarodowych konfliktów zbrojnych sporządzonego w Genewie dnia 8 czerwca 1977 roku [16–17].

Powyższe oznacza wypełnianie przez państwo zadań humanitarnych, mających na celu ochronę ludności cywilnej przed niebezpieczeństwami wynikającymi z działań zbrojnych i przewyższanie ich bezpośrednich następstw oraz zapewnienie warunków koniecznych do przetrwania. Kolejnym obszarem działania obrony cywilnej jest działalność na rzecz wsparcia obronności państwa w przypadku zagrożenia militarnego.

Podsumowując uzyskane wyniki badań, obrona cywilna w czasie pokoju stanowić będzie jedynie zespół przedsięwzięć organizacyjno-planistycznych zapewniających sprawne przygotowanie państwa (w tym wszystkich organów i podmiotów) do realizacji

Where should civil protection in Poland evolve

The organisation and functioning of civil protection within the State's security system is an extremely complex, fragmented and difficult issue. What makes it so complex is the multitude of approaches to its definition, the number of objectives, and the multi-faceted functional and structural relationships. The issue of civil protection frequently intermingles with such areas as crisis management, life-saving, public security, safe and secure public environment, and national defence. An effective civil protection system should be an interdisciplinary and well-integrated system capable of responding to any current and expected civil security challenges and threats across various national circumstances.

The structure of civil protection can be based on the existing administrative division, with wójt's (Vogts), starostas, and province governors being in charge of civil protection and acting as decision-makers. The organisations responsible for civil protection, from this point on referred to as "civil protection organisations," are [18]:

- public administration (government and local-government) bodies,
- components of emergency monitoring, warning, and alerting systems,
- capabilities and resources available to different services, inspectorates and guards,
- volunteer fire department units,
- capabilities and resources of the national rescue and firefighting system,
- other rescue organisations not included in the national rescue and firefighting system,
- Armed Forces units assigned to support the public,
- NGOs operating in civil protection,
- emergency medical services' capabilities and resources,
- organisations which have been made responsible for civil defence by the relevant authority in charge of civil protection.

In the civil protection system in Poland, the central role may be served by the managing authority (decision-maker), who is primarily responsible for any decision-making, dividing tasks between specific executive bodies, and coordinating operations during any events when public security is at risk. The managing authority defines the extent of any goal and is responsible for the steps taken at each stage of civil protection. And these are: preventing any security risks to the public, making preparations for emergencies to be able to take effective action, efficiently responding to any risks or emergencies, and restoring normal functioning. This subsystem achieves its objectives through management, which is a decision-making process based on information retrieval, collection, processing, and distribution.

zadań obrony cywilnej w czasie wojny. Wobec tego system ochrony ludności w okresie pokoju powinien posiadać takie zabezpieczenie (rezerwy w niezbędnym wymiarze na czas wojny), aby w czasie wojny mógł skutecznie realizować zadania do zabezpieczenia i przetrwania ludności cywilnej oraz wykonywać zadania na rzecz obronności państwa.

Pożądan kierunki zmian ochrony ludności w Polsce

Problem organizacji i funkcjonowania ochrony ludności w systemie bezpieczeństwa państwa jest niezwykle złożony, rozproszony i trudny. O jego złożoności może świadczyć różnorodność definiowania, wielorakość zadań oraz wieloaspektowe powiązania funkcjonalno-strukturalne. Bardzo często problematyka ochrony ludności przeplata się z zagadnieniami z zakresu zarządzania kryzysowego, ratownictwa, bezpieczeństwa publicznego, bezpieczeństwa społecznego i obronności państwa. Poprawnie funkcjonujący system ochrony ludności powinien być interdyscyplinarnym, zintegrowanym systemem zdolnym odpowiadać aktualnym, a także prognozowanym wyzwaniom i zagrożeniom bezpieczeństwa ludności w różnych stanach funkcjonowania państwa.

Struktura ochrony ludności może opierać się na istniejącym administracyjnym podziale terytorialnym kraju, gdzie wójtowie, starostowie i wojewodowie są szefami ochrony ludności i pełnią rolę decydentów. Podmiotami realizującymi cele i zadania ochrony ludności, zwanymi dalej „podmiotami ochrony ludności”, są [18]:

- organy administracji publicznej (rządowej i samorządowej),
- elementy systemu monitorowania, ostrzegania i alarmowania o zagrożeniach,
- dostępne siły i środki służb, inspekcji i straży,
- jednostki ochotniczych straży pożarnej,
- siły i środki krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego,
- inne podmioty ratownicze niewchodzące w skład krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego,
- wydzielone do wsparcia ludności jednostki Sił Zbrojnych,
- organizacje pozarządowe wykonujące zadania ochrony ludności,
- siły i środki systemu państwowego ratownictwa medycznego,
- podmioty, na które organ właściwy w sprawach ochrony ludności nałożył obowiązek realizacji zadań obrony cywilnej.

W systemie ochrony ludności w Polsce nadrzędną funkcję może pełnić organ zarządzający (decydent), którego zadaniem w głównej mierze będzie podejmowanie decyzji, podział zadań dla poszczególnych wykonawców i koordynowanie działań w czasie wystąpienia zagrożeń bezpieczeństwa ludności. Organ zarządzający określa zakres przedsięwzięć, jak też ponosi odpowiedzialność za podjęte działania w poszczególnych fazach procesu ochrony ludności, które sprowadzają się do: zapobiegania powstawaniu zagrożeń bezpieczeństwa ludności, przygotowania do podejmowania skutecznych działań w przypadku powstania zagrożenia, sprawnego reagowania na powstałe zagrożenia i sytuację kryzysową oraz powrotu do stanu normalnego funkcjonowania. Podsystem realizuje swoje zadania poprzez zarządzanie, które jest procesem decyzyjnym składającym się z pozyskiwania, gromadzenia, przetwarzania oraz dystrybucji informacji.

Given the importance of civil protection within the national security system across different national circumstances, it seems reasonable to consider a different approach to the organisation and operation of the civil protection system (Figure 5).

Mając na uwadze znaczenie ochrony ludności w systemie bezpieczeństwa narodowego w poszczególnych stanach funkcjonowania państwa, należałoby rozważyć inne podejście do organizacji i funkcjonowania systemu ochrony ludności (ryc. 5).

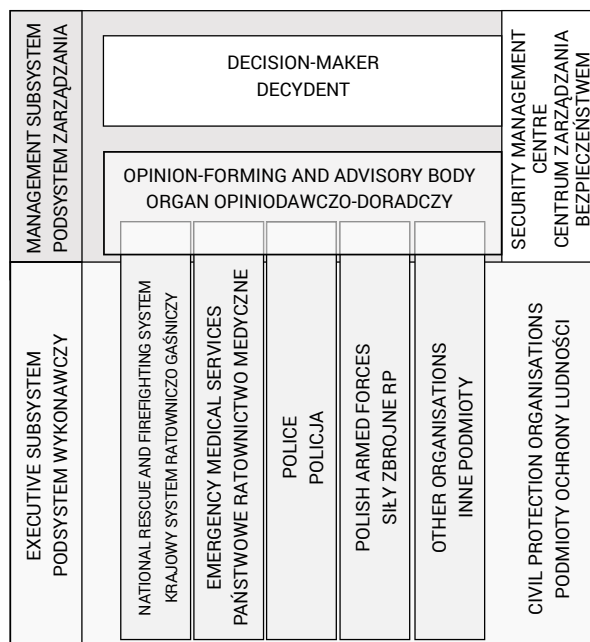


Figure 5. Systemic approach to civil protection

Rycina 5. Systemowe podejście do ochrony ludności

Source/Źródło: Own elaboration based on/Opracowanie własne na podstawie: Sobolewski G., *Siły zbrojne RP w zarządzaniu kryzysowym. Aspekt narodowy i międzynarodowy*, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2013 [12, s. 77–78].

The proposed approach is that, similar to crisis management, the managing authority be a combination of three organised elements, with the following roles:

- a decision-making body: the Head of Civil Protection and Civil Defence (appointed by the Prime Minister; during peace this role could be served by the Minister of the Interior and Administration, with the Chief of the National Fire Service serving as Deputy Head of Civil Protection and Civil Defence), the province governor, the starosta, the wójt (Vogts), or the mayor. This body would be authorised under laws or regulations to make sovereign decisions and, as such, it would govern the actions of the organisations which are essentially responsible for civil protection;
- an advisory body: the Civil Protection Team, a team working with the Head of Civil Protection and Civil Defence, and province or commune civil protection teams – they all serve opinion-forming and advisory functions, develop policies for emergencies, and recommend solutions to ensure communication between the decision-making, and planning and coordination levels;
- a planning and coordination unit – analyses and evaluates information, develops scenarios and proposed

Proponuje się, aby na wzór zarządzania kryzysowego, organ zarządzający był układem trzech uporządkowanych elementów, spełniających odpowiednio następujące role:

- Organu decyzyjnego: Szef Ochrony Ludności i Obrony Cywilnej Kraju (którego powołuje Prezes Rady Ministrów, taką funkcję w okresie pokoju mógłby pełnić Minister Spraw Wewnętrznych i Administracji, a Komendant Główny Państwowej Straży Pożarnej pełniłby funkcję zastępcy Szefa Ochrony Ludności i Obrony Cywilnej Kraju), wojewoda, starosta, wójt, burmistrz, prezydent miasta. Organ posiadałby prawo do decyzji władczych, powierzonych mu na podstawie ustaw lub rozporządzeń. Tym samym miałby wpływ na działania podmiotów, które w istocie swojego funkcjonowania posiadają zadania w zakresie ochrony ludności;
- Organu doradczego: Zespół Ochrony Ludności, zespół funkcjonujący przy Szefie Ochrony Ludności i Obrony Cywilnej Kraju, wojewódzkie, powiatowe i gminne zespoły ochrony ludności – posiadają funkcję opiniotwórczo-doradczą, określają strategię działania w danej sytuacji zagrożenia bezpieczeństwa ludności, rekomendując propozycje rozwiązań, zapewniając komunikację między członem decyzyjnym i planistyczno-koordynacyjnym;
- Komórki planistyczno-koordynującej – analizuje i ocenia

solutions, and is responsible for the implementation of decisions, division of responsibilities and coordination of actions. At the central level, this role could be served by the Government Security Centre, and at provincial, district, and communal levels by security centres. During war, such units could operate as the staff of the Head of Defence at each level.

The second element of the civil protection system is the executive subsystem which comprises various services, guards, and inspectorates, and their human resources and technologies. In civil protection, executive subsystem components (capabilities and resources available to each decision-maker) are the primary executive bodies without which even the most complex decision-making systems and security authorities would be unable to serve their statutory roles. Their importance for civil protection, in many cases manifested through organised collaboration, is associated with a number of principles that guide their operation and cooperation to defuse crisis situations. Capacities of individual organisations are very specific and only with a thorough knowledge of those can decision-makers successfully organise this collaboration and coordination during emergencies [12, pp. 77–78].

In addition to the expected increase in the country's defence capabilities in the event of a military threat, the establishment of the Territorial Defence Force (WOT), a new branch of Poland's Armed Forces, creates better conditions for supporting public authorities and society in civil protection during emergencies. With good organisation, equipment and training, and often unique operational capabilities, WOT units assigned to risk elimination can provide valuable support to the public and a high level of successful emergency resolution. Those units have some qualities that are useful for civil protection, namely they are 'attached' to specific land (they are responsible for specific areas), they function within local communities, and are in a close relationship with local authorities. They are much quicker to arrive at the crisis location and respond to the emergency than the regular armed forces. This opens up many possibilities for WOT to support the civil protection system, but this requires further design, legislative, and organisational work to take maximum advantage of this valuable potential related to civil protection.

As a member of the NATO and the EU, we need to approach civil protection from a broad perspective, as a process aimed at ensuring national security at all times and under any circumstances. Whether during natural or man-made or war disasters, it is necessary to take the same actions, such as alerting and evacuating people, providing medical assistance, delivering basic necessities to the affected population, and protecting property.

The purpose of civil protection is to prevent situations that could put human life or health at risk, to make the civil protection system ready to respond, and once a threat materialises, to efficiently respond to it and restore normal balance after the crisis is defused. This is why civil protection can be identical to crisis management, and can be divided into four stages – mitigation, preparedness, response, and recovery (Figure 6).

The first two stages (mitigation and preparedness) take place even before there is an actual threat to any population or the crisis situation develops. The primary goal of mitigation is to eliminate

informacje, przygotowuje warianty działań i propozycje rozwiązań oraz odpowiada za wdrożenie podjętych decyzji, podział zadań i koordynację działań. Na szczeblu centralnym taką funkcję mogłoby spełniać Rządowe Centrum Bezpieczeństwa, na szczeblach wojewódzkich, powiatowych i gminnych – centra bezpieczeństwa. Komórki te w czasie wojny mogłyby pełnić funkcję sztabu wojennego Szefa Obrony na danym poziomie.

Drugim elementem systemu ochrony ludności jest podsystem wykonawczy, który stanowią w głównej mierze służby, straż, inspekcje w postaci zasobów ludzkich i technologii. Elementy podsystemu wykonawczego (dostępne siły i środki jakimi dysponuje dany decydent) w ochronie ludności stanowią zasadniczą siłę wykonawczą, bez której nawet najbardziej złożone systemy decyzyjne oraz organy odpowiedzialne za bezpieczeństwo nie byłyby w stanie realizować swoich ustawowych zadań. Ich rola w ochronie ludności, przejawiająca się niejednokrotnie w zorganizowanym współdziałaniu, jest związana z przestrzeganiem szeregu zasad kształtujących ich działanie i współdziałanie w rozwiązywaniu sytuacji kryzysowych. Możliwości poszczególnych podmiotów charakteryzują się bardzo specyficznymi właściwościami. Dopiero dokładne ich poznanie może stanowić dla organów decyzyjnych podstawę do organizowania współdziałania i koordynacji ich działań w sytuacjach zagrożeń bezpieczeństwa ludności [12, s. 77–78].

Powstanie nowego rodzaju Sił Zbrojnych RP – Wojsk Obrony Terytorialnej (WOT), oprócz zakładanego wzrostu zdolności obronnych państwa na wypadek zagrożenia militarnego, stwarza większe możliwości wsparcia organów władzy i społeczeństwa w zakresie ochrony ludności w sytuacjach kryzysowych. Właściwie zorganizowane, wyposażone i wyszkolone, często o unikatowych zdolnościach działania, wydzielone do likwidacji zagrożeń jednostki WOT mogą zapewnić wartościowe wsparcie ludności i wysoki stopień skuteczności rozwiązywania różnych sytuacji kryzysowych. Powstałe wojska posiadają cenne właściwości w zakresie ochrony ludności. Mianowicie są „przywiązane” do danego terytorium (posiadają rejony odpowiedzialności), funkcjonują w ramach ludności lokalnej i są w ścisłej relacji organami władzy lokalnej. Czas dotarcia i rozpoczęcia działań w rejonie sytuacji kryzysowej jest zdecydowanie krótszy niż w przypadku wojsk operacyjnych. Otwiera to szerokie możliwości wsparcia systemu ochrony ludności przez WOT. Aby właściwie wykorzystać tak wartościowy potencjał państwa w zakresie ochrony ludności niezbędne jest przeprowadzenie dalszych prac koncepcyjnych, legislacyjnych i organizacyjnych.

Obecność w strukturach NATO i UE sprawia, że na ochronę ludności powinniśmy patrzeć szeroko, jak na proces mający na celu zapewnienie bezpieczeństwa obywatelom w każdym czasie i warunkach. W sytuacji zagrożenia katastrofą naturalną lub spowodowaną przez człowieka czy działaniami wojennymi konieczne jest podjęcie tych samych przedsięwzięć, m.in.: alarmowania, ewakuacji ludności, udzielenia pomocy medycznej, zapewnienia poszkodowanej ludności podstawowych warunków przetrwania czy też zabezpieczenia mienia.

Celem ochrony ludności jest zapobieganie powstawaniu sytuacji stwarzających zagrożenie życia i zdrowia ludności, przygotowanie systemu ochrony ludności do reagowania, a w chwili wystąpienia zagrożeń – sprawne jego reagowanie

or reduce the likelihood of the threat actualising. This stage serves to minimise the risk of a crisis situation through prevention. Preparedness is all about defining any relevant procedures based on the necessary action plans. This stage is a collection of planning and organisational measures to successfully counter any risks. This stage serves to prepare the governing and executive authorities to efficiently resolve (take control over) any emergency.

Response is mainly about taking action to reduce the damage and take control over the emergency as soon as possible, and using specific plans and procedures to recover. The final stage, recovery, focuses especially on providing immediate help to any affected population (providing basic necessities) and ensuring that public institutions and services can function, if only on an emergency basis, and to restore the normal conditions for the affected population.

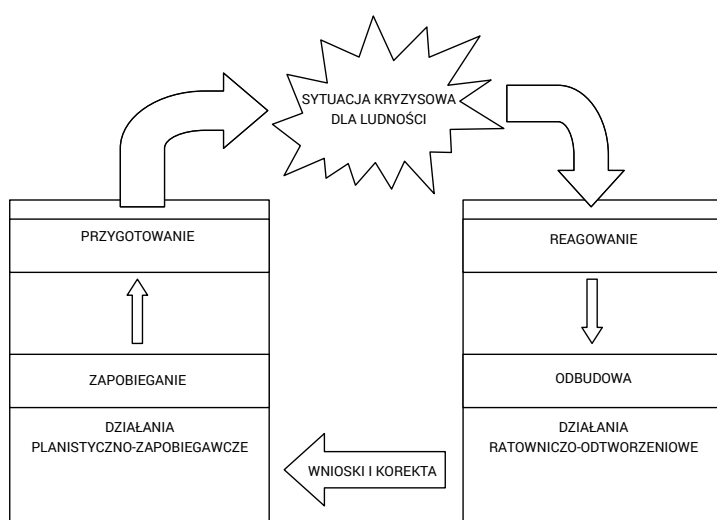


Figure 6. Stages of civil protection

Rycina 6. Etapy procesu ochrony ludności

Source/Źródło: Own elaboration based on/Opracowanie własne na podstawie: Lidwa W., *Zarządzanie kryzysowe*, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2015 [19, s. 23]; Michailiuk B., *Ochrona ludności. Wybrane problemy*, Warszawa 2017 [20, s. 59].

These actions can help prevent emergencies (prevention measures), and if these occur, support rapid and effective resolution. This approach can be the basis for a correct interpretation of civil protection as an element of the process to ensure national security.

Summary

The issue of ensuring civilian security is one of the greatest challenges of the 21st century. International Red Cross data indicate that military conflicts occurring in the early 21st century show a steady increase in the number of casualties among civilian populations. What confirms this increase in civilian casualties in present-day conflicts is the mass migration of civilian populations from the regions where fighting takes place to Europe in search of security. Moreover, the world is constantly facing natu-

oraz odbudowa po kryzysie (powrót do równowagi funkcjonowania). Dlatego też proces ochrony ludności może być tożsamy z procesem zarządzania kryzysowego i można go podzielić na cztery etapy: zapobiegania, przygotowania, reagowania, odbudowy (ryc. 6).

Dwa pierwsze etapy (zapobiegania i przygotowania) realizowane są jeszcze przed wystąpieniem realnego zagrożenia ludności i powstania sytuacji kryzysowej. Głównym celem etapu zapobiegania jest eliminowanie oraz redukowanie prawdopodobieństwa wystąpienia zagrożenia. Istotą tej fazy jest zmniejszenie ryzyka powstania sytuacji kryzysowej poprzez działania prewencyjne. Z kolei na etapie przygotowania określa się procedury postępowania poprzez opracowanie potrzebnych planów działania. Etap ten stanowi zbiór przedsięwzięć planistycznych i organizacyjnych, których zadaniem jest skuteczne przeciwdziałanie zagrożeniom. Jego istota wyraża się przygotowaniem organów zarządzających i elementów wykonawczych do sprawnego rozwiązywania (przejęcia kontroli) powstałej sytuacji kryzysowej.

Etap reagowania to w głównej mierze podejmowanie działań w celu ograniczenia strat i zniszczeń oraz jak najszybszego przejęcia kontroli nad zaistniałą sytuacją kryzysową i – w drodze zorganizowanych działań (określonych planów i procedur) – przywrócenia równowagi funkcjonowania. Ostatni – etap odbudowy, w pierwszej kolejności skupia się na doraźnej pomocy ludności poszkodowanej (minimalnych standardach życia społecznego) oraz zapewnieniu doraźnego funkcjonowania obiektów i urządzeń użyteczności publicznej, a następnie przywróceniu warunków funkcjonowania poszkodowanej ludności sprzed zaistnienia sytuacji kryzysowej.

Przytoczone przedsięwzięcia mogą zapobiegać powstawaniu sytuacji kryzysowych (działania prewencyjne), a w momencie ich wystąpienia pozwolą na szybkie i skuteczne ich rozwiązywanie. Takie podejście może być podstawą do właściwego interpretowania ochrony ludności jako elementu procesu zapewnienia bezpieczeństwa narodowego.

Podsumowanie

Problem zapewnienia bezpieczeństwa dla ludności cywilnej jest jednym z największych wyzwań XXI wieku. Dane Międzynarodowego Czerwonego Krzyża wskazują, że w konfliktach zbrojnych prowadzonych na początku XXI wieku systematycznie rośnie procentowy udział strat wśród ludności cywilnej. Potwierdzeniem wzrostu ofiar cywilnych we współczesnych konfliktach jest masowa migracja ludności cywilnej z rejonów objętych walkami do Europy w poszukiwaniu bezpieczeństwa. Ponadto świat stale zma-

ral disasters which also constitute a serious risk to human life and health, and property. The response to such military and non-military risks are national, regional, and international security systems. Poland, similar to many other EU Member States, has a security system based on modern organisational and legal solutions, which covers civil protection as a way to prevent threats posed mainly by socio-economic progress, natural phenomena, and typical military, including terrorist, threats.

The purpose of this study was to identify the civil protection system within the domain of Poland's national security, to describe its mission and range of operations during peace, crisis, and war, and to suggest what should be changed. The course of the study made it possible to achieve this goal and to verify the adopted assumptions. As expected, civil protection is a core mission undertaken within national security by public administration, and is allocated a significant proportion of the State's capabilities and resources. Consequently, civil protection can be considered the primary area of responsibility for government and local-government administration, and of the security-related capabilities and resources deployed for the purposes of mitigation, preparedness, response and recovery. In Poland, this role is served by the civil protection system, an internally coordinated system of capabilities, measures, and resources designed to efficiently prevent, and effectively respond to, any risks to civil security. But today this system is fragmented, and its areas often overlap with the State's crisis management or defence. Therefore, there is a need for it to be enhanced, mainly in legislative, organisational, and functional terms. It is proposed that the civil defence system be a framework that includes control and executive subsystems, and is integrated enough to be able to respond to both current and expected threats to civil security across different national circumstances. Integration and a systemic approach are crucial for the continued enhancement of the organisation of civil protection against any potential military (resulting from military operations) or non-military risks (natural disasters), and successful response to any actualised risks. Such integration should be brought about during planning and response (deployment of the available capabilities and resources), within both crisis management and defence systems. As crisis management and civil protection systems each have, in many cases, identical control bodies (public authorities) and capabilities and resources, such integration is simply desirable. This approach could limit redundant planning projects and enhance response efficiency. Civil protection is about taking measures to save and protect people against potential risks. During war, it takes the form of civil defence, and its responsibilities are extended to include national defence support measures. In the event of natural risks or disasters, technical disasters, or armed conflicts, it becomes necessary to take the same steps, such as saving lives, evacuating people, providing medical assistance, organising logistics for the affected populations, and protecting property and national heritage.

Research shows that perhaps the civil protection system should be reorganised, especially at the central level, and have a separate organisation during war. It is not clear who should have such broad powers in relation to so many national as-

ga się z klęskami żywiołowymi, które także stanowią poważne zagrożenie dla życia i zdrowia oraz mienia. Odpowiedzią na militarne i pozamilitarne zagrożenia bezpieczeństwa ludzi są funkcjonujące systemy bezpieczeństwa w układzie narodowym, regionalnym i międzynarodowym. W Polsce, podobnie jak w większości krajów Unii Europejskiej, funkcjonuje system bezpieczeństwa oparty na nowoczesnych rozwiązaniach organizacyjno-prawnych. Obejmuje on sferę ochrony ludności jako sposób przeciwdziałania zagrożeniom wynikającym głównie z rozwoju cywilizacyjnego, zachodzących zjawisk naturalnych i typowych zagrożeń militarnych, w tym też terrorystycznych.

Cele badań obejmowały identyfikację systemu ochrony ludności w problematyce bezpieczeństwa narodowego, przedstawienie istoty i zakresu działań w czasie pokoju, kryzysu i wojny oraz określenie pożądanego jego kierunków rozwoju. Przeprowadzony proces badawczy pozwolił na osiągnięcie zamierzonego celu badań oraz weryfikację przyjętych założeń. Tak jak przypuszczano, ochrona ludności to jedna z zasadniczych misji realizowanych w ramach bezpieczeństwa narodowego przez organy administracji publicznej oraz siły i środki, jakie państwo przeznacza na ten cel. Dlatego też ochronę ludności możemy traktować jako główny obszar odpowiedzialności organów administracji rządowej i samorządowej oraz używanie sił i środków (zasobów państwa) w zakresie bezpieczeństwa, w celu zapobiegania, przygotowania, reagowania i odtworzeniu równowagi funkcjonowania poszkodowanej ludności. W Polsce taką rolę spełnia system ochrony ludności, który funkcjonuje jako skoordynowany wewnętrznie układ wydzielanych przez państwo sił i środków oraz zasobów ukierunkowanych na sprawne zapobieganie i skuteczne reagowanie na zagrożenia bezpieczeństwa ludności. Niemniej jednak współcześnie system ten jest rozproszony, a jego obszary działalności często pokrywają się z problematyką zarządzania kryzysowego publicznego i obronności państwa. Wobec tego istnieje potrzeba jego doskonalenia – głównie w sferze legislacyjnej, organizacyjnej i funkcjonalnej. Proponuje się, aby system ochrony ludności był strukturą obejmującą podsystem kierowania i podsystemy wykonawcze. Powinien być zintegrowanym systemem zdolnym odpowiadać na aktualne, a także prognozowane wyzwania i zagrożenia bezpieczeństwa ludności w różnych stanach funkcjonowania państwa. Kontynuowanie procesu doskonalenia organizacji ochrony ludności przed możliwymi zagrożeniami militarnymi (wynikającymi z działań zbrojnych) lub niemilitarnymi (klęsk żywiołowych) oraz skutecznego reagowania w przypadku ich powstania wymaga integracji i ujęcia systemowego. Przedmiotowa integracja powinna mieć wymiar w procesie planowania działań oraz samego reagowania (działań dostępnych sił i środków) zarówno w ramach funkcjonowania systemu zarządzania kryzysowego, jak i systemu obronnego. Podobnie jak w systemie zarządzania kryzysowego, tak i w systemie ochrony ludności organy kierowania (organy administracji publicznej) oraz siły i środki są często tożsame, dlatego taka integracja jest wręcz pożądana. Podejście to może ograniczyć zbędne przedsięwzięcia w okresie planowania i poprawić skuteczność reagowania. Istotą ochrony ludności są działania mające na celu ratowanie i ochrona ludności wobec możliwych zagrożeń. W przypadku wojny przybierze ona formę obrony cywilnej, której zadania są poszerzone o przedsięwzięcia w zakresie wsparcia obronności państwa. W sytuacji wystąpienia zagrożenia naturalnego,

sets (capabilities and resources) associated with civil protection. It might also be useful to decide who should be responsible at the central level for civil defence during war. Some new legislative solutions (legal acts or regulations) might be considered in relation to civil defence only. This would help define civil protection objectives, identify civil protection organisations, describe how such a system should operate in the event of an armed conflict, and also identify the organisations or institutions in charge of civil defence during war. An effective civil protection system should be an interdisciplinary and well-integrated system capable of ensuring public security across various national circumstances.

katastrofy naturalnej, katastrofy technicznej czy też konfliktu zbrojnego konieczne stanie się podjęcie tych samych przedsięwzięć, takich jak: ratowanie życia, ewakuacji ludności, zapewnienie opieki medycznej, organizacji zabezpieczenia logistycznego poszkodowanej ludności oraz zabezpieczenie mienia i dóbr narodowych.

Badania wskazują, że może warto rozważyć zmiany organizacyjne systemu ochrony ludności, zwłaszcza na szczeblu centralnym oraz innej jej organizacji w okresie wojny. Nie jest jednoznaczne, kto powinien mieć tak szerokie kompetencje w odniesieniu do tak wielu zasobów państwa (sił i środków) na rzecz ochrony ludności. Zasadne byłoby zastanowienie się, kto będzie kierował obroną cywilną w trakcie wojny na szczeblu centralnym. Należy rozważyć, czy nie warto przyjąć rozwiązań prawnych (ustawy lub rozporządzenia) w zakresie tylko obrony cywilnej. Pozwoli to na określenie zadań w zakresie obrony cywilnej, wskazanie podmiotów obrony cywilnej, założeń funkcjonowania takiego systemu na wypadek konfliktu zbrojnego, wskazanie podmiotów odpowiedzialnych za właściwe przygotowanie i realizację zadań z zakresu obrony cywilnej w czasie wojny. Poprawnie funkcjonujący system ochrony ludności powinien być interdyscyplinarnym, zintegrowanym systemem zdolnym do zapewnienia bezpieczeństwa ludności w różnych stanach funkcjonowania państwa.

Literature / Literatura

- [1] Wróblewski R., *Zarządzanie kryzysowe jako element zarządzania bezpieczeństwem narodowym*, UPH, Siedlce 2013.
- [2] Kuciński J., *Nauka o państwie współczesnym*, Wydawnictwo Społecznej Akademii Nauk, Łódź 2019.
- [3] Ustawa z 18 kwietnia 2002 r. o stanie klęski żywiołowej (Dz.U. 2002 Nr 62, poz. 558 z późn. zm.).
- [4] Ustawa z 21 czerwca 2002 r. o stanie wyjątkowym (Dz.U. 2002 Nr 113, poz. 985 z późn. zm.).
- [5] Ustawa z 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz.U. 2007 Nr 89, poz. 590 z późn. zm.).
- [6] Biała księga bezpieczeństwa narodowego RP, Warszawa 2013.
- [7] Wróblewski R., *Zarządzanie bezpieczeństwem narodowym, w: Metodologia badań bezpieczeństwa*, t. IV, P. Sienkiewicz, M. Marszałek, H. Świeboda (red.), Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2012.
- [8] Biała księga bezpieczeństwa narodowego RP, Warszawa 2013.
- [9] Kitler W., *Organizacja bezpieczeństwa narodowego Rzeczypospolitej Polskiej*, Wyd. Adam Marszałek, Toruń 2018, s. 213.
- [10] Strategia bezpieczeństwa narodowego RP, Warszawa 2014.
- [11] Projekt ustawy o ochronie ludności i obronie cywilnej z dnia 29 grudnia 2017, art. 5, pkt. 1.
- [12] Sobolewski G., *Siły zbrojne RP w zarządzaniu kryzysowym. Aspekt narodowy i międzynarodowy*, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2013
- [13] Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z 2 kwietnia 1997 roku, art. 5.
- [14] Ustawa z dnia 21 listopada 1967 roku o powszechnym obowiązku obrony Rzeczypospolitej Polskiej (Dz. U. 1967 Nr 44, poz. 220).
- [15] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 25 czerwca 2002 roku w sprawie szczegółowego zakresu działania Szefa Obrony Cywilnej Kraju, szefów obrony cywilnej województw, powiatów i gmin (Dz. U. 2002 Nr 96, poz. 850).
- [16] Konwencje o ochronie ofiar wojny, podpisane w Genewie dnia 12 sierpnia 1949 roku, (Dz. U 1956 Nr 38, poz. 171).
- [17] Michailiuk B., *Ochrona ludności. Wybrane problemy*, Akademia Sztuki Wojennej, Warszawa 2017.
- [18] Projekt ustawy o ochronie ludności i obronie cywilnej z dnia 22 grudnia 2016 roku.
- [19] Lidwa W., *Zarządzanie kryzysowe*, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2015.
- [20] Michailiuk B., *Ochrona ludności. Wybrane problemy*, Akademia Sztuki Wojennej, Warszawa 2017.

PROF. GRZEGORZ SOBOLEWSKI, D.SC. ENG. – university teacher at the Main School of Fire Service in Warsaw. He has studied national security for many years, specialising in such research areas as national security management, (military and non-military) security risks, national defence, crisis management at the national, EU, and NATO levels, and civil protection and life-saving. He has authored or co-authored more than 200 publications on national defence and security management. As part of his research work, he has built or joined national and international research teams to explore problems related to security in its broad sense.

PROF. DR HAB. INŻ. GRZEGORZ SOBOLEWSKI – nauczyciel akademicki Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Od wielu lat zajmuje się problematyką bezpieczeństwa narodowego. Specjalizuje się w obszarach badawczych, takich jak: zarządzanie bezpieczeństwem państwa, zagrożenia bezpieczeństwa (militarne i niemilitarne), obronność państwa, zarządzanie kryzysowe w wymiarze narodowym, UE i NATO, ochrona ludności i ratownictwo. Jest autorem lub współautorem ponad 200 publikacji z obszaru obronności państwa i zarządzania bezpieczeństwem. W zakresie działalności naukowej organizował krajowe i międzynarodowe zespoły badawcze o zasięgu krajowym i międzynarodowym oraz uczestniczył w ich pracach dotyczących problematyki szeroko pojętego bezpieczeństwa.

Bogdan Kosowski^{a)*}

^{a)} *The Jagiellonian University, Institute of Political Science and International Relations / Uniwersytet Jagielloński, Instytut Nauk Politycznych i Stosunków Międzynarodowych*

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: bogdan.kosowski@gmail.com*

Critical Infrastructure in the National Security System

Infrastruktura krytyczna w systemie bezpieczeństwa narodowego

ABSTRACT

Aim: To present relationships resulting from legal regulations impacting the effectiveness of critical infrastructure protection, which is a part of the national security system. An auxiliary objective was a historical analysis illustrating the process of creating critical infrastructure in a modern form in the world and in Poland.

Project and methods: Article is based on the principles of functionalism theory and using literature analysis, expert interviews, participating observation in the organised Critical Infrastructure Forums, inference and deduction. This made it possible to identify the directions for improving the functioning of critical infrastructure protection in terms of institutional cooperation and the impact of infrastructure on the national security system.

Results: Removal of critical infrastructure protection vulnerabilities as a contribution to the elimination of a weak link in the national security system in the context of assessing the effectiveness and efficiency of the national security system.

Conclusions: There is a need to create clear legislation and to integrate security entities in terms of institutional cooperation in the protection of critical infrastructure. This is related to the fact that in an organisation, which is a particular form of team activities, we often encounter chaos intensified by solutions which are the more inaccurate, the less the formation mechanism of disturbing factors is known. Then we experience only the consequences of their impact, responding according to the circumstances.

Keywords: critical infrastructure, national security, infrastructure protection, classified information, security management, efficiency and effectiveness of operations

Type of article: review article

Received: 18.10.2019; Reviewed: 26.11.2019; Accepted: 17.12.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0003-3397-4445;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 132–141, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.10>;

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

ABSTRAKT

Cel: Przedstawienie powiązań wynikających z uregulowań prawnych wpływających na efektywność ochrony infrastruktury krytycznej będącej elementem systemu bezpieczeństwa narodowego. Za cel pomocniczy przyjęto analizę historyczną obrazującą proces tworzenia infrastruktury krytycznej we współczesnej formie na świecie oraz w Polsce.

Projekt i metody: Artykuł został opracowany na podstawie zasad teorii funkcjonalizmu i przy wykorzystaniu analizy literatury, przeprowadzonych rozmów eksperckich i obserwacji uczestniczącej w organizowanych Forach Infrastruktury Krytycznej. Zastosowano także wnioskowanie i dedukcję, co pozwoliło na wskazanie kierunków poprawy funkcjonowania ochrony infrastruktury krytycznej w aspekcie współdziałania instytucjonalnego oraz wpływu infrastruktury na system bezpieczeństwa narodowego.

Wyniki: Eliminacja słabych stron ochrony infrastruktury krytycznej przyczynkiem do likwidacji słabego ogniwa systemu bezpieczeństwa narodowego w kontekście oceny efektywności i sprawności systemu bezpieczeństwa narodowego.

Wnioski: Zachodzi potrzeba tworzenia czytelnego prawa oraz konieczność integracji podmiotów bezpieczeństwa w aspekcie współdziałania instytucjonalnego w ramach ochrony infrastruktury krytycznej. Jest to związane z tym, że w organizacji, będącej szczególną formą działań zespołowych, często spotykamy się z chaosem potęgowanym rozwiązaniami tym bardziej nietrafionymi, im mniej znany jest mechanizm powstawania zakłócających czynników. Doświadczamy wtedy jedynie konsekwencji ich oddziaływania, reagując stosownie do zaistniałych okoliczności.

Słowa kluczowe: infrastruktura krytyczna, bezpieczeństwo narodowe, ochrona infrastruktury, informacje niejawne, zarządzanie bezpieczeństwem, sprawność i efektywność działania

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 18.10.2019; Zrecenzowany: 26.11.2019; Zatwierdzony: 17.12.2019;

Identyfikator ORCID: – 0000-0003-3397-4445;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 132–141, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.10>;

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

Introduction

The essence of the functioning of each society is to ensure a safe, effective and efficient course of action and elimination of potential threats resulting from the dependence of society on different environmental factors, guaranteeing stability of life at an acceptable level of safety. In addition to the primary existential resources such as water, food production and distribution, shelter and electricity, people are paying more and more attention to the various kinds of stimuli that in a systemic way provide them with the comfort of living. These include telephone communication systems, the Internet and communication and transport systems, which are described as broadly developed consumerism. These systems work in everyday life context and are subject to various types of threats causing disruptions in their functioning. Unfortunately, even small disruptions of one system may increase the level of threat, and the size, extent and scale of such events may affect not only individuals, but also have a significant impact on the functioning of society and the whole country.

The range of emerging disruptions that may turn into threats is very wide, due to the current political situation or the current level of technological and civilisational development. These include, among others, natural disasters, technological failures caused by malfunctions of equipment or unintentional human activity, acts of terrorism, cyber-terrorism, intentional sabotage, mass social unrest or warfare. When they occur, human existence depends on the State, which provides conditions of stability through the use of subsystems for recognising, preventing and combating threats. These subsystems, being connected with each other, form a specific whole, which is considered as a functional unity in the so-called national security system¹ [1]. A change in any of the elements included in the national security system may lead to its disintegration.

In the conducted analytical process, including the paper content, the theoretical concept of J. Alexander, N. Luhmann² [2] was used in relation to the conditions for the functioning of critical infrastructure protection³ [3]. Critical infrastructure is one of the elements of the national security system. In this system, an in-

¹ According to the National Security Strategy of 2014 – the national security system comprises appropriately organised, maintained and prepared forces, means and resources allocated by the State to perform tasks in this area. It consists of the management subsystem and executive subsystems, including operational (defence and protection) and support (social and economic) subsystems.

² As cited in Nowa Encyklopedia Powszechna PWN of 1995, the aforementioned theoretical concept in sociology and anthropology refers to the theory of functionalism, which is based on the following assumptions:

- society is a system composed of interconnected parts, each of which has a defined function in that system,
- the social system is in a state of dynamic equilibrium,
- tensions existing within the system can persist even for a long time, but they are solved,
- the system is changing, but gradually and evolutionarily, social macro-structures undergo the greatest changes, while social and cultural micro-structures remain largely unchanged,
- this system is characterised by the existence of diverse social roles and positions, associated with different rights and responsibilities, and by the existence of common standards and values. In order for the system to be sustainable, the following conditions must be met: it must be capable of adapting, achieving objectives, integrating and maintaining the set practice models,
- the social system aims to maintain order, i.e. proper functioning.

³ According to the Crisis Management Act of 2007, critical infrastructure is systems and their functionally interconnected facilities, including buildings, facilities, systems, services essential for the security of the State and its citizens, and serving to ensure the efficient functioning of public administration bodies, institutions and business entities.

Wprowadzenie

Istotą funkcjonowania każdego społeczeństwa jest zapewnienie bezpiecznego, skutecznego i efektywnego przebiegu procesu działania oraz eliminacja potencjalnych zagrożeń wynikających z uzależnienia społeczeństwa od odmiennych czynników otoczenia, gwarantujących stabilność życia na akceptowanym poziomie bezpieczeństwa. Oprócz podstawowych zasobów koniecznych do egzystencji, takich jak woda, produkcja i dystrybucja żywności, schronienie i energia elektryczna, człowiek przywiązuje coraz większą wagę do różnego rodzaju bodźców, które zapewniają mu komfort życia. Można tutaj wymienić systemy łączności telefonicznej, Internet, czy też system komunikacyjno-transportowy, które zaliczane są do potrzeb z zakresu szeroko rozwiniętego konsumpcjonizmu. Wymienione systemy działają w harmonii życia codziennego i podlegają różnego rodzaju zagrożeniom powodującym zakłócenia w ich funkcjonowaniu. Niestety nawet niewielkie zaburzenia działania jednego systemu mogą doprowadzić do zwiększenia stanu zagrożenia, a rozmiar, zasięg i skala takich zdarzeń mogą dotknąć nie tylko pojedyncze osoby, ale także znacząco wpłynąć na funkcjonowanie społeczeństwa i całego państwa.

Katalog pojawiających się zakłóceń, które mogą przerodzić się w zagrożenia, jest bardzo szeroki – z uwagi na stan aktualnej sytuacji politycznej czy też bieżący poziom rozwoju technologicznego i cywilizacyjnego. Między innymi można tutaj wymienić: klęski żywiołowe, awarie technologiczne spowodowane nieprawidłowym funkcjonowaniem urządzeń lub nieumyślnym działaniem człowieka, akty terrorystyczne, cyberterrorizm, umyślnie działania sabotażowe, niepokoje społeczne o charakterze masowym, czy też działania wojenne. W sytuacji ich zaistnienia byt człowieka uzależniony jest od państwa, które zapewnia warunki stabilności poprzez stosowanie podsystemów rozpoznawania, przeciwdziałania oraz zwalczania zagrożeń. Podsystemy te, będąc ze sobą powiązane, tworzą określoną całość, która rozpatrywana jest jako funkcjonalna jedność, w tzw. systemie bezpieczeństwa narodowego¹ [1]. Zmiana któregokolwiek z elementów występujących w systemie bezpieczeństwa narodowego może doprowadzić do jego dezintegracji.

W przeprowadzonym procesie analitycznym wykorzystano teoretyczną koncepcję J. Alexander, N. Luhmann² [2] w odniesieniu do

¹ Według Strategii Bezpieczeństwa Narodowego z 2014 r. – system bezpieczeństwa narodowego to siły, środki i zasoby przeznaczone przez państwo do realizacji zadań w tym obszarze, odpowiednio zorganizowane, utrzymywane i przygotowywane. Składa się on z podsystemu kierowania i podsystemów wykonawczych, w tym podsystemów operacyjnych (obronnych i ochronnych) oraz podsystemów wsparcia (społecznych i gospodarczych).

² Za Nową Encyklopedią Powszechną PWN z 1995 r., wspomniana koncepcja teoretyczna w socjologii i antropologii odnosi się do teorii funkcjonalizmu, który opiera się na założeniach:

- społeczeństwo jest systemem składającym się z wzajemnie powiązanych części, z których każda pełni określoną funkcję w tym systemie,
- system społeczny jest w stanie dynamicznej równowagi,
- istniejące wewnątrz systemu napięcia mogą się utrzymywać nawet przez dłuższy czas, ale są one rozwiązywane,
- system ten ulega zmianom, ale w sposób stopniowy i ewolucyjny, największym zmianom ulegają społeczne makrostruktury, podczas gdy mikrostruktury społeczne i kulturowe pozostają zasadniczo niezmiennione,
- cechą charakterystyczną tego systemu jest występowanie zróżnicowanych ról i pozycji społecznych, związanych ze zróżnicowanymi prawami i obowiązkami, oraz istnienie wspólnych norm i wartości. Aby system ten mógł trwać, muszą być spełnione następujące warunki: musi być zdolny do adaptacji, osiągnięcia celów, integracji i utrzymywania wzorców działania,
- system społeczny dąży do zachowania ładu, czyli prawidłowego funkcjonowania.

ternal balance must be maintained within the activities of many specialised entities performing statutorily assigned functions in order to ensure the stable life of society. Critical infrastructure protection is one of the primary tasks of State authorities responsible for the security of citizens, where the analysis conducted considers the manifestations of collective action resulting from authoritarian rules, principles and practices i.e. derived from a legitimate authority. These rules include, among others, legal regulations and public institutions and entities. The scope of the analysis conducted covered the functioning of critical infrastructure protection. The paper outlines social reality in the form of interconnected and balanced selected elements of the national security system. As already mentioned, the theory of functionalism was used to indicate the impact of critical infrastructure on the national security system in terms of State institutions and entities. It was assumed that the efficiency and effectiveness of the national security system depends on the efficiency and effectiveness of its weakest link.

The concept of critical infrastructure in the international context

The traditional approach to national security was inseparably connected with the balance of political and military forces, while the transformations taking place in the world and in Poland challenge this view. Currently, military threats often give way to threats resulting from the forces of nature, terrorism, dangerous techniques and technologies, generating more and more social and economic threats. Regardless of the type of threats, ensuring generally understood security is the task of each State. Depending on the size and extent of the threat, actions are taken to minimise losses at various levels of public administration and those incurred by individual security entities forming the State. There are many elements influencing the national security system, and in the age of globalisation one of them is the correct, undisturbed functioning of critical infrastructure.

A concept similar to the current concept of critical infrastructure has been used for many centuries. For the Phoenicians, these were ports and port installations used for commercial activities and shipbuilding to control sea trade routes. In ancient Egypt, these were irrigation devices connected to the Nile, and grain warehouses. For colonial Spain, these were gold mines in South America, and for Portugal or Great Britain, overseas estates with transport routes and ports enabling the transportation of various goods to their metropolises. Currently, the term critical infrastructure (CI) is used to refer to resources that are critical to the functioning of the State and its citizens. The term was first used in the US President B. Clinton's Directive of 22 May 1998, which indicated the need to take action to protect facilities, systems that are sensitive to impacts of potential opponents,

warunków funkcjonowania ochrony infrastruktury krytycznej³ [3]. Infrastruktura krytyczna jest bowiem jednym z elementów systemu bezpieczeństwa narodowego. Aby zapewnić stabilność życia społeczeństwa, w systemie tym musi być zachowana wewnętrzna równowaga w obrębie działań wielu wyspecjalizowanych podmiotów, pełniących przypisaną ustawowo funkcję. Ochrona infrastruktury krytycznej jest jednym z nadrzędnych zadań organów państwa odpowiedzialnych za bezpieczeństwo obywateli. W przeprowadzonej analizie rozpatrywane są przejawy zbiorowego działania wynikające z autorytarnych, wywiedzionych reguł, zasad i praktyk prawomocnej władzy. Do reguł tych zalicza się między innymi normy prawne oraz instytucje i podmioty publiczne. Przeprowadzona analiza swoim zakresem objęła funkcjonowanie ochrony infrastruktury krytycznej. Przedstawiono zarys rzeczywistości społecznej w postaci wzajemnie powiązanych i pozostających w równowadze wybranych elementów systemu bezpieczeństwa narodowego. Jak już wspomniano, w celu wskazania wpływu infrastruktury krytycznej na system bezpieczeństwa narodowego w kategoriach instytucji i podmiotów państwa, bazowano na teorii funkcjonalizmu. Przyjęto założenie, iż efektywność i sprawność systemu zależy od sprawności i efektywności najsłabszego ogniwa, wchodzącego w skład systemu bezpieczeństwa narodowego.

Pojęcie infrastruktury krytycznej w ujęciu międzynarodowym

Tradycyjne ujęcie bezpieczeństwa narodowego nieodłącznie związane było z układem sił polityczno-militarnych. Tymczasem przeobrażenia zachodzące w świecie i w Polsce korygują ten pogląd. Obecnie zagrożenia militarne często ustępują miejsca zagrożeniom wynikającym z sił przyrody, terroryzmu, niebezpiecznych technik i technologii, generując także zagrożenia społeczno-ekonomiczne. Bez względu na rodzaj zagrożeń zapewnienie ogólnie pojmowanego bezpieczeństwa jest zadaniem każdego państwa. W zależności natomiast od wielkości i rozmiaru zagrożenia podejmowane są działania w zakresie minimalizacji strat na poszczególnych szczeblach administracji publicznej oraz przez poszczególne podmioty bezpieczeństwa tworzące państwo. Istotnym w dobie globalizacji czynnikiem wpływającym na system bezpieczeństwa narodowego jest poprawne, niezakłócone funkcjonowanie infrastruktury krytycznej.

Z zasobami, które współcześnie nazywamy infrastrukturą krytyczną, spotykamy się już od wielu wieków. Dla Fenicjan były nimi porty i instalacje portowe wykorzystywane do działalności handlowej oraz budowy okrętów zapewniających kontrolę morskich szlaków handlowych. W starożytnym Egipcie infrastrukturę tę stanowiły urządzenia irygacyjne związane z Nilem oraz magazyny na zboże. Dla kolonialnej Hiszpanii były to kopalnie złota w Ameryce Południowej, a dla Portugalii i Wielkiej Brytanii – posiadłości zamorskie wraz ze szlakami komunikacyjnymi i portami umożliwia-

³ Według ustawy o zarządzaniu kryzysowym z 2007 r. infrastruktura krytyczna to systemy oraz wchodzące w ich skład powiązane ze sobą funkcjonalnie obiekty, w tym obiekty budowlane, urządzenia, instalacje, usługi kluczowe dla bezpieczeństwa państwa i jego obywateli oraz służące zapewnieniu sprawnego funkcjonowania organów administracji publicznej, a także instytucji i przedsiębiorców.

and for the proper functioning of the State [4]. Critical infrastructure protection activities were intensified after the events of 11 September 2001, i.e. the terrorist attack in New York. This event resulted in the intensification and acceleration of work on the development of systems aimed at the protection of critical infrastructure as a resource having a fundamental impact on the functioning of society and the economy of the State. Therefore, the concept of critical infrastructure is associated with means of production, healthcare, telecommunications, transport, security services, etc., and its purely descriptive definition is from the perspective of the functioning of the State. An example is the definition of critical infrastructure in NATO, which indicates, among others, that these are "...facilities, services and information systems that are so vital to the State that their damage or destruction could have a significant impact on State security, national economy, public health and security and the proper functioning of the State..." [5].

A similar definition can be found in the Directive of the Council of the European Union of 8 December 2008, which states that critical infrastructure "...means assets, systems or parts thereof⁴ located in Member States which are essential for the maintenance of vital societal functions, health, safety, security, economic or social well-being of people, and the disruption or destruction of which would have a significant impact in a Member State as a result of the failure to maintain those functions..." [6].

It is interesting to note that in the European Union, the intensification of work on the critical infrastructure protection model followed the attack in Madrid on 11 March 2004, which killed as many as 191 people. In June 2004, the European Council ordered that a strategy be drawn up for the protection of critical infrastructure. The work was aimed at improving systems for preventing terrorist attacks and improving preparedness and response capacity. This work culminates in the aforementioned Council Directive, which does not interfere with the solutions adopted by individual Member States, leaving the designation of critical infrastructure to the discretion of Member States, using the analysis of risk, hazards and vulnerabilities. It also identifies the need to draw up critical infrastructure protection plans, to appoint a liaison officer and to ensure communication, storage and flow of information with a specified classification level. The presented principles are directly related to the need to ensure the protection of the European Critical Infrastructure as infrastructure located in the territory of Member States whose disruption or destruction would have a significant impact on at least two Member States [6]. Thus, Poland, as a country forming the EU community, was obliged to provide a critical infrastructure protection system, which was statutorily implemented in 2007, by adopting in the Polish Parliament the Act on Crisis Management, which also included issues directly related to critical infrastructure.

⁴ According to the PWN Encyclopaedia of 1995, infrastructure is the basic facilities and institutions ensuring the proper existence and functioning of communities that provide services in the field of:

- services including transport, communication, energy, irrigation, land reclamation, etc. (economic infrastructure),
- services in the fields of law, security, education and training, health, personal communication, etc. (social infrastructure).

jące transport różnych dóbr do metropolii. Obecnie termin infrastruktura krytyczna (IK) używany jest w odniesieniu do zasobów mających podstawowe znaczenie dla funkcjonowania państwa i jego obywateli. Określenie to pojawiło się po raz pierwszy w dyrektywie prezydenta USA B. Clintona z dnia 22 maja 1998 roku, która wskazywała na konieczność podejmowania działań w sprawie ochrony obiektów, systemów będących wrażliwymi na uderzenia potencjalnych przeciwników, a stanowiących systemy niezbędne dla prawidłowego funkcjonowania państwa [4]. Intensyfikacja działań w zakresie ochrony infrastruktury krytycznej przybrała na sile po zamachu terrorystycznym w Nowym Yorku 11 września 2001 roku. Wydarzenie to spowodowało przyspieszenie prac nad stworzeniem systemów mających na celu ochronę infrastruktury krytycznej jako zasobu wywierającego zasadniczy wpływ na funkcjonowanie społeczeństwa i gospodarki państwa. Stąd też z pojęciem infrastruktury krytycznej kojarzone są środki do produkcji, ochrony zdrowia, telekomunikacji, transportu, służb bezpieczeństwa itp., a jej wyłącznie opisowe definiowanie następuje z perspektywy funkcjonowania państwa. Przykładem jest tutaj definicja infrastruktury krytycznej funkcjonująca w NATO, w której między innymi wskazuje się, że są to "...obiekty, służby i systemy informacyjne, które są żywotne dla państwa, że ich uszkodzenie lub zniszczenie mogłoby mieć niebagatelny wpływ na bezpieczeństwo państwa, krajową gospodarkę, zdrowie i bezpieczeństwo publiczne oraz prawidłowe funkcjonowanie państwa..." [5].

Podobny opis możemy napotkać w Dyrektywie Rady Unii Europejskiej z 8 grudnia 2008 roku, w której określono, że infrastruktura krytyczna "...oznacza składniki, systemy lub części infrastruktury⁴ zlokalizowane na terytorium państw członkowskich, które mają podstawowe znaczenie dla utrzymania niezbędnych funkcji społecznych, zdrowia, bezpieczeństwa, ochrony, dobrobytu materialnego lub społecznego ludności oraz którego zakłócenie lub zniszczenie miałyby istotny wpływ na dane państwo członkowskie w wyniku utracenia tych funkcji..." [6].

Co ciekawe, w Unii Europejskiej intensyfikacja prac nad modelem ochrony infrastruktury krytycznej nastąpiła po zamachu przeprowadzonym w dniu 11 marca 2004 roku w Madrycie, w wyniku którego zginęło aż 191 osób. W czerwcu 2004 roku Rada Europejska nakazała przystąpić do opracowania strategii w zakresie ochrony infrastruktury krytycznej. Działania skupiono na usprawnieniu systemów zapobiegania atakom terrorystycznym oraz podniesieniu gotowości i zdolności do reagowania. Uwieńczeniem tych prac jest wspomniana powyżej Dyrektywa Rady, która nie ingeruje w rozwiązania przyjęte przez poszczególne państwa, pozostawiając wyznaczanie infrastruktury krytycznej w gestii poszczególnych państw członkowskich, przy wykorzystaniu analizy ryzyka, zagrożeń i słabych punktów. Wskazuje jednocześnie na potrzebę opracowania planów ochrony infrastruktury krytycznej, powołania urzędnika łącznikowego oraz zapewnienia komunikowania się oraz magazynowania i przepływu informacji, przy określonej klauzuli tajności. Przedstawione zasady

⁴ Według Encyklopedii PWN z 1995 r., infrastruktura to podstawowe urządzenia i instytucje zapewniające należyte istnienie i funkcjonowanie społeczności, które wykonują świadczenia w zakresie:

- usług obejmujących transport, komunikację, energetykę, irygację, meliorację, itp. (infrastruktura ekonomiczna),
- usług w dziedzinie prawa, bezpieczeństwa, kształcenia i oświaty, służby zdrowia, komunikacji osobowej, itp. (infrastruktura społeczna).

Critical infrastructure protection in Poland

In terms of functionality⁵ critical infrastructure protection in Poland has been an issue since the beginning of work on a legal solution for the protection of the most important facilities for the security of the State and its citizens. This work resulted in the Act of 22 August 1997 on the Protection of Persons and Property, in which the legislator specified that facilities subject to mandatory protection are areas, facilities, equipment, transports important for defence and protection of the interests of the State and public security. The obligation to protect systems, equipment and facilities important for State defence, economic protection of the State, public security and protection of other important State interests was indicated [7]. This Act does not specify systems, equipment or facilities. It does, however, specify the necessity of protection due to its importance for defence and economic and social interests that are important for the State. Facilities subject to mandatory protection were detailed in the Regulation of the Council of Ministers of 24 June 2003 [8]. The document divided areas, facilities and equipment subject to compulsory protection as particularly important for the security of state defence into two categories. Category I includes plants involved in the production, repair and storage of military equipment and armaments, as well as research and development plants for security and defence purposes; warehouses of State reserves; facilities of units subordinate to the Ministry of National Defence; facilities of road, railway, water, sea and air transport infrastructure, as well as centres of geodesic and cartographic documentation; water dams and other hydrotechnical equipment; facilities of the Intelligence Agency; facilities of the National Bank of Poland (NBP), BGK, the Polish Security Printing Works and the State Mint; facilities where nuclear materials, radioactive sources and waste are produced, used or stored; telecommunications facilities designed for broadcasting public radio and television programmes. Category II of facilities subject to protection as particularly important for national defence and security includes, among others: facilities of units subordinate to the Minister of Internal Affairs; organisational facilities of the Internal Security Agency; facilities of the Police, the Border Guard, the State Fire Service; facilities within the jurisdiction of the Minister of Justice, prison service; facilities related to the extraction of basic minerals; facilities which

⁵ The functional aspect is understood by the author to include, among others, common and similar characteristics of the discussed issue related to critical infrastructure systems.

związane są bezpośrednio z potrzebą zapewnienia ochrony Europejskiej Infrastruktury Krytycznej, jako infrastruktury zlokalizowanej na terytorium państw członkowskich, której zakłócenie lub zniszczenie miałoby istotny wpływ na co najmniej dwa państwa członkowskie [6]. Tym samym Polska jako kraj tworzący wspólnotę UE została zobowiązana do zapewnienia systemu ochrony infrastruktury krytycznej, co ustawowo wykonano w roku 2007, uchwalając w Parlamencie RP ustawę o zarządzaniu kryzysowym, obejmującą także zagadnienia odnoszące się bezpośrednio do infrastruktury krytycznej.

Ochrona infrastruktury krytycznej w Polsce

O ochronie infrastruktury krytycznej w Polsce w aspekcie funkcjonalnym⁵ można mówić od momentu zainicjowanych prac nad prawnym rozwiązaniem ochrony obiektów mających najistotniejsze znaczenie dla bezpieczeństwa państwa i jego obywateli. Efektem tych prac stała się ustawa z dnia 22 sierpnia 1997 roku o ochronie osób i mienia, w której ustawodawca określił, że obiekty podlegające obowiązkowej ochronie to obszary, obiekty, urządzenia, transporty ważne dla obronności i ochrony interesów państwa i bezpieczeństwa publicznego. Wskazana została obowiązkowość ochrony dla systemów, urządzeń, obiektów ważnych dla obronności państwa, ochrony gospodarczej państwa, bezpieczeństwa publicznego i ochrony innych ważnych interesów państwa [7]. Ustawa ta nie precyzuje systemów, urządzeń, czy też obiektów. Określa natomiast konieczność ochrony ze względu na znaczenie dla obronności i interesów ekonomicznych oraz społecznych istotnych dla państwa. Uszczegółowienie wykazu obiektów podlegających obowiązkowej ochronie nastąpiło w rozporządzeniu Rady Ministrów z dnia 24 czerwca 2003 roku [8]. Dokument wprowadził podział obszarów, obiektów i urządzeń podlegających obowiązkowej ochronie jako szczególnie ważne dla bezpieczeństwa obronności państwa na dwie kategorie. Do kategorii I należą: zakłady zajmujące się produkcją, remontem, magazynowaniem sprzętu wojskowego i uzbrojenia oraz zakłady badawczo-rozwojowe na potrzeby bezpieczeństwa i obronności; magazyny rezerw państwowych; obiekty jednostek podległych MON; obiekty infrastruktury transportu samochodowego, kolejowego, wodnego, morskiego, lotniczego oraz ośrodki dokumentacji geodezyjnej i kartograficznej; zapory wodne i inne urządzenia hydrotechniczne; obiekty Agencji Wywiadu; obiekty NBP, BGK, Państwowej Wytwórni Papierów Wartościowych oraz Mennicy Państwowej; obiekty, w których produkuje się, stosuje lub magazynuje materiały jądrowe oraz źródła i odpady promieniotwórcze; obiekty telekomunikacyjne przeznaczone do nadawania programów radia i telewizji publicznej. Do II kategorii zostały zaliczone między innymi: obiekty jednostek podległych ministrowi właściwemu do spraw wewnętrznych; obiekty organizacyjne Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego; obiekty policji, straży granicznej, straży pożarnej; obiekty znajdujące się we właściwościach ministra sprawiedliwości, służby więziennej; zakłady związane z wydobyciem kopaliny podstawowych; obiekty, które produkują, magazynują lub stosują materiały szczególnie zagrożone wybuchem lub pożarem; obiekty, których działalność związana jest z wykorzystaniem toksycznych

⁵ Przez aspekt funkcjonalny Autor rozumie między innymi wspólne i zbliżone cechy charakterystyczne dla omawianego zagadnienia związanego z systemami infrastruktury krytycznej.

produce, store or use materials which are particularly prone to explosion or fire; facilities whose activity is related to the use of toxic chemical compounds and biological agents that may cause diseases in humans and animals; power plants and other power facilities; other facilities whose destruction or damage may pose a threat to human life and health, national heritage, the environment, and their destruction or damage may cause disturbances in the functioning of the State [8].

At that time in Poland, a discussion on critical infrastructure issues, including its protection, was also initiated. In 2001, representatives of Poland took part in the NATO SECURE 2001 conference, where the problems related to security in the ICT network were analysed. In 2002, the National Security Bureau and Telekomunikacja Polska SA organised a conference "Secure Infrastructure in Poland", where the leading theme was the coordination of security activities throughout the country. Under the auspices of the Ministry of Interior and Administration, work began on the development of legal solutions for the protection of critical infrastructure [9], which resulted in sanctioning the protection of critical infrastructure in the Act on Crisis Management of 26 April 2007 [3]. The definition of critical infrastructure in the Act refers directly to systems such as: "...energy, raw materials and fuels supply; communications; information and communication networks; financial; food supply; water supply; healthcare; transport; emergency; ensuring the continuous functioning of the public administration; production, storage, keeping and use of chemicals and radioactive substances, including pipelines of dangerous substances..." [3].

Doubts arise at a practical level when analysing the functional understanding of the normative provisions relating to the proposed definition of critical infrastructure. If, for example, transport infrastructure, which is treated as economic infrastructure [2] of the State, is considered to be a transport system in the sense of critical infrastructure, does this mean that the entire transport infrastructure of the State is critical infrastructure for the country? Can it then be critical due to its usability for the safe functioning of the State? In the author's opinion, it cannot, because if we follow this line of reasoning, then we will consider the critical condition of the infrastructure of the entity - the State, and not the critical condition of infrastructure understood as all transport systems. In such a case, systems that include facilities, equipment, installations and services crucial for the security and defence of the State must be subject to special protection, which involves the need to solve the problems contained, among other things, in the following questions⁶:

⁶ The presented questions are formulated in the light of the adopted course of reasoning and are the result of the conducted participating observation resulting from the author's practice, as well as participation in thematic seminars and the Forum for the Protection of Critical Infrastructure. Active participation in the seminars and the Forum made it possible to hold a discussion and expert interviews on the basis of which the author formulated the questions. These questions are directly related to the effectiveness of the activities of security entities which operate in accordance with and on the basis of the applicable law. The lack of precision of obligations resulting from legal regulations results in dualism or even discontinuation of activities by certain security entities participating in the system. Then it may turn out that when an event occurs, there will be organisational chaos which will contribute to the reduction of the efficiency of the national security system.

związków chemicznych, a także środków biologicznych mogących wywoływać choroby u ludzi i zwierząt; elektrownie i inne obiekty elektroenergetyczne; inne obiekty, których zniszczenie lub uszkodzenie może stanowić zagrożenie dla życia i zdrowia ludzi, dziedzictwa narodowego, środowiska naturalnego a ich zniszczenie lub uszkodzenie może spowodować zakłócenia funkcjonowania państwa [8].

W Polsce w tym czasie rozpoczęto także dyskusję obejmującą bezpośrednio problematykę infrastruktury krytycznej łącznie z jej ochroną. W 2001 roku przedstawiciele Polski uczestniczyli w zorganizowanej przez NATO konferencji SECURE 2001, na której poddano analizie problemy związane z bezpieczeństwem w sieci teleinformatycznej. W 2002 roku Biuro Bezpieczeństwa Narodowego i Telekomunikacja Polska SA zorganizowały konferencję „Bezpieczna Infrastruktura w Polsce”, której wiodącym tematem była koordynacja działań w zakresie bezpieczeństwa na terenie całego kraju. Pod patronatem MSWiA rozpoczęto prace nad stworzeniem prawnych rozwiązań ochrony infrastruktury krytycznej [9], co w konsekwencji doprowadziło do usankcjonowania ochrony infrastruktury krytycznej w ustawie z dnia 26 kwietnia 2007 roku o zarządzaniu kryzysowym [3]. Przedstawiona w ustawie definicja infrastruktury krytycznej odnosi się bezpośrednio do systemów takich jak: „...zaopatrzenia w energię, surowce energetyczne i paliwa; łączności; sieci teleinformatycznych; finansowe; zaopatrzenia w żywność; zaopatrzenia w wodę; ochrony zdrowia; transportowe; ratownicze; zapewniające ciągłość działania administracji publicznej; produkcji, składowania, przechowywania i stosowania substancji chemicznych i promieniotwórczych, w tym rurociągi substancji niebezpiecznych...” [3].

Przeprowadzając analizę obejmującą funkcjonalne zrozumienie zapisów normatywnych odnoszących się do przedstawionej definicji infrastruktury krytycznej na poziomie praktycznym, pojawiają się wątpliwości. Jeżeli bowiem np. infrastrukturę transportową, którą traktujemy jako infrastrukturę ekonomiczną [2] państwa, przyjmiemy za system transportowy w znaczeniu infrastruktury krytycznej, to czy oznacza to, że cała infrastruktura transportowa państwa jest infrastrukturą krytyczną dla kraju? Czy wówczas może ona być w stanie krytycznym ze względu na jej zdolność użytkową w aspekcie bezpiecznego funkcjonowania państwa? Zdaniem autora odpowiedź na tak postawione pytanie powinna być negatywna – jeśli przyjmiemy powyższy tok rozumowania, wtedy będziemy rozpatrywać stan krytyczny infrastruktury podmiotu – państwa, a nie stan krytyczny infrastruktury jako wszystkich systemów transportowych. W takim przypadku systemy, które obejmują obiekty, urządzenia, instalacje, usługi ważne dla bezpieczeństwa i obronności państwa muszą zostać poddane szczególnej ochronie, co wiąże się z koniecznością rozwiązania problemów zawartych między innymi w pytaniach⁶:

⁶ Przedstawione pytania są sformułowane wobec przyjętego toku rozumowania i są efektem przeprowadzonej obserwacji uczestniczącej wynikającej z praktyki Autora, a także udziału w seminariach tematycznych oraz Forum Ochrony Infrastruktury Krytycznej. Czynne uczestnictwo w seminariach i Forum pozwoliło przeprowadzić dyskusję oraz rozmowy eksperckie na podstawie, których Autor sformułował pytania. Pytania te są bezpośrednio powiązane z efektywnością działania podmiotów bezpieczeństwa, które funkcjonują na zasadach i w oparciu o obowiązujące prawo. Brak doprecyzowania obowiązków wynikających z unormowań prawnych powoduje dualizm bądź wręcz zaprzestanie działań przez niektóre podmioty bezpieczeństwa uczestniczące w systemie. Wtedy może się okazać, że w przypadku wystąpienia zdarzenia nastąpi chaos organizacyjny, który przyczyni się do obniżenia sprawności systemu bezpieczeństwa narodowego.

1. Will the register of areas, facilities and equipment subject to mandatory protection referred to in Article 5(2) of the Act on the Protection of Persons and Property include obligatorily all facilities also included in the list of critical infrastructure facilities, as indicated, for example, by the amendment to the provisions of the Act on the Protection of Persons and Property contained in Article 33 of the Act on Anti-Terrorist Activities?
2. Do the emergency services of Voivodeship Crisis Management Centres (as well as lower-level centres) have the ability and possibility to access, process and store classified documents with the CONFIDENTIAL clause?
3. Do the emergency services of Voivodeship Crisis Management Centres have 24-hour access to relevant extracts from the critical infrastructure list?
4. Do the plans, procedures and principles of operation used by the emergency services of Voivodeship Crisis Management Centres contain procedures for the notification of events occurring in critical infrastructure facilities?
5. Is it possible that crisis management plans at municipal and district levels, which are public documents, include duplicated information on critical infrastructure facilities?

Answers to such questions are important not only for the protection of information, but also for the protection of critical infrastructure and the integration of the activities of all State security institutions forming the national security system. Unfortunately, the analysis of normative acts and the used participating observation method show many ambiguities and the lack of precise statutory provisions. According to the author, in terms of creating new legal regulations in the discussed scope, there is no integration of security institutions and entities, and the direction of building systems protection in the sectoral system is dominant. An example of this was the work on the Act on the change of specific powers of the Minister of Energy and their exercise in certain corporations or groups of companies operating in the sectors of electricity, oil and gas fuels. At the time of drafting the Act, imprecise provisions appeared, for example, in the scope of wider cooperation between the Internal Security Agency (ABW) and CI operators. This applies, for example, to checking and responding to requests from a CI operator for whom an external economic operator performs modernisation, especially in electronic systems. In the case at hand, it is also important to:

- specify in the legal regulations the level of access to classified information and data to which the entity executing the modernisation order may have access,
- specify how to ensure destroyed or damaged equipment (e.g. destroyed turbines in the electricity sector) necessary for restoration (business continuity),

since these are issues that affect not only the security of critical infrastructure, but also the national security system, its effectiveness and efficiency.

Preserving legal transparency is very important to ensure the continuity of operation of an entity considered to be a critical infrastructure operator. These entities play a key role in citizens' lives and at the same time constitute an economic

1. Czy w ewidencji obszarów, obiektów i urządzeń podlegających obowiązkowej ochronie, o których mowa w art. 5, ust. 2 ustawy o ochronie osób i mienia, znajdują się obligatoryjnie wszystkie obiekty zaklasyfikowane także do wykazu obiektów infrastruktury krytycznej, na co chociażby wskazuje zmiana w przepisach ustawy o ochronie osób i mienia zawarta w art. 33 ustawy o działaniach antyterrorystycznych?
2. Czy służby dyżurne Wojewódzkich Centrów Zarządzania Kryzysowego (a także centrów niższego szczebla) posiadają zdolność i możliwość dostępu, przetwarzania i magazynowania dokumentów niejawnych o klauzuli POUFNE?
3. Czy służby dyżurne Wojewódzkich Centrów Zarządzania Kryzysowego posiadają całodobowy dostęp do właściwych wyciągów z wykazu infrastruktury krytycznej?
4. Czy plany, procedury i zasady działania wykorzystywane przez służby dyżurne Wojewódzkich Centrów Zarządzania Kryzysowego zawierają procedury powiadamiania o zdarzeniach powstałych w obiektach infrastruktury krytycznej?
5. Czy przypadkiem w planach zarządzania kryzysowego szczebla gminnego i powiatowego – które są dokumentami jawnymi – nie dubluje się informacji o obiektach infrastruktury krytycznej?

Odpowiedzi na tak postawione pytania są istotne nie tylko z punktu widzenia ochrony informacji, ale także ochrony infrastruktury krytycznej i integracji działań wszystkich instytucji bezpieczeństwa państwa tworzących system bezpieczeństwa narodowego. Niestety przeprowadzona analiza aktów normatywnych oraz wykorzystana metoda obserwacji uczestniczącej wskazują na wiele niejednoznaczności i brak precyzyjnych zapisów ustawowych. Zdaniem autora w zakresie tworzenia nowych uregulowań prawnych w omawianym obszarze nie następuje integracja instytucji i podmiotów bezpieczeństwa, a coraz bardziej przyjmowany jest kierunek budowania ochrony systemów w układzie sektorowym. Przykładem mogą być prace nad ustawą o zmianie szczególnych uprawnieniach ministra właściwego do spraw energii oraz ich wykonywania w niektórych spółkach kapitałowych lub grupach kapitałowych, prowadzących działalność w sektorach energii elektrycznej, ropy naftowej oraz paliw gazowych. W czasie tworzenia ustawy pojawiły się nieprecyzyjne zapisy chociażby w zakresie szerszej współpracy między ABW a operatorami IK. Odnosi się to między innymi do sprawdzania i odpowiedzi na zapytania operatora IK, dla którego zewnętrzny podmiot gospodarczy wykonuje modernizację, zwłaszcza w systemach elektronicznych. W rozpatrywanym przypadku istotne jest także:

- określenie w unormowaniach prawnych poziomu dostępu do informacji i danych niejawnych, do których dostęp może mieć podmiot wykonujący zlecenie modernizacji;
- uszczegółowienie w jaki sposób należy zapewnić potrzebne do odtworzenia (zapewnienia ciągłości działania) zniszczone lub uszkodzone urządzenia (np. zniszczone turbozespoły w sektorze energii elektrycznej).

Są to bowiem zagadnienia wpływające nie tylko na stan bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej, ale także na system bezpieczeństwa narodowego, jego efektywność i sprawność funkcjonowania.

Zachowanie przejrzystości prawa jest bardzo istotne z punktu widzenia zapewnienia ciągłości działania podmiotu uznanego jako

subsystem in the national security system⁷. The destruction, damage or disconnection of a single element of critical infrastructure may compromise or even cause the loss of defence or economic capacity or the functioning of public administration. This is obvious and understandable, which is reflected e.g. in the resolutions of the Council of Ministers [10] adopting the National Programme for Critical Infrastructure Protection. The programme is to contribute to the prevention of disruptions in the efficient operation of systems, preparing them for possible crisis situations, and in the case of failures or damage, develop appropriate response procedures and proceed to restore the damaged elements. The programme [11] primarily defines national priorities for the smooth functioning and restoration of critical infrastructure. It defines the competent ministers and heads of central offices who are responsible for the proper functioning of the systems assigned to them. The criteria for separating facilities, installations, equipment and services that are part of infrastructure systems have also been established. However, it is important to ensure the highest possible level of cooperation between the various institutions operating within the scope of critical infrastructure protection. This problem is partly solved by the Regulation of the Council of Ministers of 30 April 2010 [10], which contains the principles of creation, updating and structure of critical infrastructure protection plans. These plans are drawn up by a critical infrastructure operator taking into account general data, critical infrastructure data, characteristics and essential emergency response options to ensure the smooth restoration of critical infrastructure in the event of failure. The Regulation defines the rules of cooperation with the locally competent crisis management centre and public administration bodies, as well as the agreement of the plan with the Governor, Voivodeship Commander of the State Fire Service, Voivodeship Commander of the Police, Director of the Regional Water Management Authority (Wody Polskie), Voivodeship Building Supervision Inspector, Voivodeship Veterinarian, State Voivodeship Sanitary Inspector, and in the case of coastal areas with the Director of the Maritime Office. Thus, the range of persons having access to classified information in relation to the protection of critical infrastructure is growing significantly, and therefore it is necessary to solve the problems (posed problematic questions) referred to in the paper, especially in the area of cooperation and access, storage and protection of information on critical infrastructure, which significantly affects the national security system in an indirect way.

Conclusions

Critical infrastructure protection has a significant impact on the national security system in Poland, and imprecise legal regulations undoubtedly contribute to lowering the level of national

⁷ Based on the provisions of the current National Security Strategy of 2014, the national security system comprises appropriately organised, maintained and prepared forces, means and resources allocated by the State to perform tasks in this area. The system consists of the management subsystem, executive subsystems and support subsystems, which include, among others, an economic subsystem.

operatora infrastruktury krytycznej. Podmioty te spełniają kluczową rolę w funkcjonowaniu życia obywateli, stanowiąc jednocześnie podsystem gospodarczy w systemie bezpieczeństwa narodowego⁷. Zniszczenie, uszkodzenie lub wyłączenie jednego elementu składowego infrastruktury krytycznej spowodować może załamanie lub nawet utratę zdolności obronnych, gospodarczych lub funkcjonowania administracji publicznej. Jest to oczywiste i zrozumiałe, co uwidaczniają np. uchwały Rady Ministrów [10], w których przyjęto Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej. Program ma przyczynić się do zapobiegania zakłóceniom w sprawnym działaniu systemów, przygotowując je na ewentualne sytuacje kryzysowe, a w przypadku awarii bądź uszkodzeń, wypracować właściwe procedury reagowania i przystąpić do odtworzenia zaistniałych uszkodzeń. Program [11] określa przede wszystkim narodowe priorytety służące sprawnemu funkcjonowaniu, jak i odtwarzaniu infrastruktury krytycznej. Wskazano w nim właściwych ministrów i kierowników urzędów centralnych, którzy są odpowiedzialni za poprawne funkcjonowanie przypisanych im systemów. Ustalono także kryteria, które pozwalają na wyodrębnienie obiektów, instalacji, urządzeń i usług, które wchodzi w skład systemów infrastruktury. Istotne jest jednak, by zapewnić jak najwyższy poziom współdziałania poszczególnych instytucji funkcjonujących w obrębie ochrony infrastruktury krytycznej. Po części problem ten rozwiązuje rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2010 r. [10], zawierający zasady tworzenia, aktualizacji oraz strukturę planów ochrony infrastruktury krytycznej. Plany te operator infrastruktury krytycznej opracowuje z uwzględnieniem danych ogólnych, danych o infrastrukturze krytycznej, charakterystyki i zasadniczych wariantów działania w sytuacjach kryzysowych, które mają zapewnić sprawne jej odtworzenie w przypadku jej uszkodzenia. Rozporządzenie określa zasady współpracy z właściwym miejscowo centrum zarządzania kryzysowego i organami administracji publicznej, a także uzgodnienie planu z wojewodą, komendantem wojewódzkim PSP, komendantem wojewódzkim Policji, dyrektorem regionalnego zarządu gospodarki wodnej (Polskimi Wodami), wojewódzkim inspektorem nadzoru budowlanego, wojewódzkim lekarzem weterynarii, państwowym wojewódzkim inspektorem sanitarnym oraz – w przypadku terenów nadmorskich – z dyrektorem urzędu morskiego. Tym samym grupa osób mających dostęp do informacji niejawnych w odniesieniu do ochrony infrastruktury krytycznej znacznie się powiększa. Powoduje to konieczność rozwiązania problemów (postawionych pytań problemowych), o których mowa w artykule, zwłaszcza w zakresie współdziałania oraz dostępu, magazynowania i ochrony informacji o infrastrukturze krytycznej, które w znaczący sposób pośrednio wpływają na system bezpieczeństwa narodowego.

Konkluzje

Ochrona infrastruktury krytycznej znacząco wpływa na system bezpieczeństwa narodowego w Polsce, a nieprecyzyjne za-

⁷ W oparciu o zapisy ujęte w obowiązującej Strategii Bezpieczeństwa Narodowego z 2014 r. – system bezpieczeństwa narodowego obejmuje siły, środki i zasoby przeznaczone przez państwo do realizacji zadań w tym obszarze, które są odpowiednio zorganizowane, utrzymywane i przygotowane. System składa się z podsystemu kierowania, podsystemów wykonawczych oraz podsystemów wsparcia, do które zalicza się między innymi podsystem gospodarczy.

security. Critical infrastructure includes equipment, installations, facilities and services which are characterised, among others, by the following features:

- long-term service life,
- they serve as basic and specialised services,
- they are public and serve the public,
- they provide services for the industrial and consumer sectors,
- they are owned by the State, corporations or private individuals,
- they are often international because of the network of connections and interdependencies (energy, telecommunications networks, etc.),

which undoubtedly points to the impact of critical infrastructure on citizens' sense of security. It is therefore necessary for the State to support the activities of critical infrastructure operators, as their activities contribute to the development of the country and ensure acceptable levels of security for people. This is all the more so as the resources of critical infrastructure operators are used in various situations, including emergency situations, disturbing the normal functioning of the State and its economy. This is the case, among others, with liquid fuel supply systems for the transport and electricity sectors. Long-term difficulties in this area always have serious economic consequences, lowering the security and comfort of life of citizens and disturbing their social life. For example, it is difficult to imagine the functioning of an agglomeration without electricity or drinking water supplies for more than a few hours. The prolongation of such a state of affairs may undoubtedly lead to the anarchisation of social behaviours. Critical infrastructure is therefore of key importance for the existence of the State and the national security system, and within its framework - an organised society. If it is disrupted, the State and its institutions may lose all or part of their ability to perform their basic administrative and service functions. Therefore, it is so important to ensure such legal norms that directly affect the proper organisation of activities and the creation of such a structure of security management that will provide a formula of action rather than reaction [12]. Reactions, in relation to an organisation as a particular form of team activities, often give rise to chaos intensified by solutions which are the more inaccurate, the less the formation mechanism of disturbing factors is known. Then we experience only the consequences of their impact, responding according to the circumstances. The effectiveness of the system is manifested by the possibility of functioning and correlation of actions in normal and crisis situations, using the full potential of the State. However, the efficiency of the organisational structures of the State depends on the readiness to face challenges and threats, which is the determinant of the State security.

piszy prawne niewątpliwie wpływają na obniżenie stanu bezpieczeństwa państwa. Infrastruktura krytyczna obejmuje bowiem urzędnia, instalacje, obiekty oraz usługi, które:

- charakteryzują się długotrwałym okresem użytkowania,
- pełnią funkcję usług podstawowych i wyspecjalizowanych,
- posiadają charakter publiczny i pełnią rolę służebną wobec społeczeństwa,
- świadczą usługi dla sfery przemysłowej i konsumpcyjnej,
- stanowią własność państwa, korporacji bądź osób prywatnych,
- często posiadają międzynarodowy charakter z uwagi na sieć powiązań i zależności (sieci energetyczne, telekomunikacyjne itp.).

Powyżej wymienione cechy pokazują wpływ infrastruktury krytycznej na poczucie bezpieczeństwa obywateli. Tym samym konieczne staje się ze strony państwa wsparcie działalności operatorów infrastruktury krytycznej, ponieważ ich działalność służy rozwojowi kraju oraz zapewnieniu akceptowalnego stanu bezpieczeństwa ludzi. Tym bardziej, że zasoby operatorów infrastruktury krytycznej wykorzystywane są również w sytuacji nadzwyczajnych wydarzeń, zakłócających normalne funkcjonowanie państwa i jego gospodarki. Dzieje się tak m.in. w przypadku systemów dostaw paliw płynnych dla sektora transportowego oraz energii elektrycznej. Długotrwałe utrudnienia w tym obszarze zawsze niosą poważne skutki gospodarcze, obniżają stan bezpieczeństwa oraz komfort życia obywateli, zaburzając życie społeczne. Trudno np. wyobrazić sobie funkcjonowanie aglomeracji pozbawionej dostaw energii elektrycznej czy wody pitnej dłużej niż kilka godzin. Przedłużanie się takiego stanu niewątpliwie może doprowadzić do anarchizacji zachowań społecznych. Infrastruktura krytyczna ma zatem kluczowe znaczenie dla istnienia państwa i systemu bezpieczeństwa narodowego, a w jego ramach – zorganizowanego społeczeństwa. Jeśli następuje zakłócenie w jej funkcjonowaniu, państwo i jego instytucje mogą utracić – w całości lub w części – zdolność do wykonywania swoich podstawowych funkcji administracyjnych i usługowych. Stąd też tak istotne jest zapewnienie unormowań prawnych, które bezpośrednio wpływają na poprawne organizowanie działań i tworzenie struktury zarządzania bezpieczeństwem, która zapewni formułę akcji, a nie reakcji [12]. Reakcje bowiem, w odniesieniu do organizacji jako szczególnej formy działań zespołowych, często rodzą chaos potęgowany rozwiązaniami tym bardziej nietrafionymi, im mniej znany jest mechanizm powstawania zakłócających czynników. Doświadczamy wtedy jedynie konsekwencji ich oddziaływania, reagując stosownie do zaistniałych okoliczności. Efektywność systemu przejawia się natomiast możliwością funkcjonowania i korelacji działań w sytuacjach normalnych oraz sytuacjach kryzysowych, przy wykorzystaniu całego potencjału państwa. Sprawność struktur organizacyjnych państwa uzależniona jest natomiast od gotowości do sprostania wyzwaniom i przeciwstawiania się zagrożeniom, co jest determinantem stanu bezpieczeństwa państwa.

Literature / Literatura

- [1] Strategia Bezpieczeństwa Narodowego, Warszawa 2014.
- [2] *Nowa Encyklopedia Powszechna PWN*, B. Petrozolin-Skowrońska (red.), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995.
- [3] Ustawa z dnia 26 kwietnia 2007 r. o zarządzaniu kryzysowym (Dz. U. 2007 nr 89 poz. 590, ze zmianami).
- [4] Trejnis Z., *Infrastruktura krytyczna – koncepcje i zarys*, w: *Ochrona infrastruktury krytycznej*, A. Tyburska (red.), Wyższa Szkoła Policji, Szczytno 2010.
- [5] Piwowarczyk A., *Europejska infrastruktura krytyczna*, w: *Ochrona infrastruktury krytycznej*, A. Tyburska (red.), Wyższa Szkoła Policji, Szczytno 2010.
- [6] Dyrektywa Rady 2008/114/WE z dnia 8 grudnia 2008 r. w sprawie rozpoznania i wyznaczenia europejskiej infrastruktury krytycznej oraz oceny potrzeb w zakresie poprawy jej ochrony (Dz. Urz. UE z dnia 23.12.2008, L345/75).
- [7] Ustawa z dnia 22 sierpnia 1997 r. o ochronie osób i mienia (Dz. U. 1997 nr 114 poz. 740, ze zmianami).
- [8] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia z dnia 24 czerwca 2003r. w sprawie obiektów szczególnie ważnych dla bezpieczeństwa i obronności państwa oraz ich szczególnej ochrony (Dz. U. 2003 nr 116 poz. 1090, ze zmianami).
- [9] Ustawa z dnia 10 czerwca 2016 r. o działaniach antyterrorystycznych (Dz. U. z 2018 poz. 452, ze zmianami).
- [10] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 30 kwietnia 2010 r. w sprawie Narodowego Programu Ochrony Infrastruktury Krytycznej (Dz. U. 2010 nr 83 poz. 541).
- [11] Narodowy Program Ochrony Infrastruktury Krytycznej – Rządowe Centrum Bezpieczeństwa, Warszawa 2013, aktualizowany w 2015 r.
- [12] Kosowski B., *Sprawne i elastyczne zarządzanie w kryzysie*, Difin, Warszawa 2008.

BOGDAN KOSOWSKI, D.SC. ENG. – professor at the Jagiellonian University, fire officer. Graduate of the Cracow University of Technology (Eng.), the Main School of Fire Service (fire officer, since 1996 fire safety expert) and the AGH University of Science and Technology in Kraków, the Faculty of Management and Marketing. (MA, Manager in Mining). From 2005 to 2007 he participated in monthly seminars on the Development of the Theory and Practice of Management Sciences, organised by the “Orgmasz” Institute of Organisation and Management in Industry in Warsaw. He received his DSc degree in 2000, at the Faculty of Mining, AGH University of Science and Technology, in the discipline of mining, speciality: management and marketing. In 2013, he received his post-doctoral degree at the Faculty of National Security of the National Defence University of Warsaw in the discipline of safety science. He was, among others: Deputy Voivodeship Commander of the State Fire Service in Katowice, Director of the Crisis Management Department in the Voivodeship Office in Katowice, and Vice-Chancellor and Deputy Commander at the Main School of Fire Service in Warsaw. Currently he holds the position of Professor at the Jagiellonian University and is employed as a researcher of the Institute of Political Science and International Relations at the Department of National Security. Research interests. He specialises in broadly understood issues of the theories of systems related to the organisation of security management in business entities, institutions and public administration bodies. He confronts practical experience gained in the State Fire Service, government and local government administration, public institutions and business entities with theoretical knowledge. He combines and adapts the theory of organisation and management science with safety science, using a systemic approach based on the analysis of risks associated with the variability of threats.

DR HAB. INŻ. BOGDAN KOSOWSKI – profesor UJ, oficer pożarnictwa. Absolwent Politechniki Krakowskiej (inż.), Szkoły Głównej Służby Pożarniczej (oficer pożarnictwa, od 1996 r. rzeczoznawca ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych) oraz Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie na kierunku Zarządzanie i Marketing (mgr, menedżer w górnictwie). W latach 2005–2007 był uczestnikiem comiesięcznych seminariów w zakresie rozwoju teorii i praktyki nauk o zarządzaniu organizowanych przez Instytut Organizacji i Zarządzania w Przemśle „Orgmasz” w Warszawie. Stopień doktora nauk technicznych uzyskał w roku 2000, na Wydziale Górniczym AGH, w dyscyplinie: górnictwo, specjalność: zarządzanie i marketing. Stopień doktora habilitowanego uzyskał w roku 2013, na Wydziale Bezpieczeństwa Narodowego AON, w dyscyplinie: nauki o bezpieczeństwie. Był między innymi: z-cą Komendanta Wojewódzkiego PSP w Katowicach, Dyrektorem Wydziału Zarządzania Kryzysowego na UW w Katowicach, Prorektorem i z-cą Komendanta SGSP w Warszawie. Obecnie profesor UJ zatrudniony jako pracownik naukowy INPiSM w Zakładzie Bezpieczeństwa Narodowego. Specjalizuje się w szeroko pojętej problematyce teorii systemów związanych z organizacją zarządzania bezpieczeństwem w podmiotach gospodarczych, w instytucjach oraz organach administracji publicznej. Doświadczenia praktyczne nabyte w Państwowej Straży Pożarnej, administracji rządowej i samorządowej, instytucjach publicznych i podmiotach gospodarczych – konfrontuje z wiedzą teoretyczną. Łączy i adaptuje teorię nauki organizacji i zarządzania z nauką o bezpieczeństwie, przy wykorzystaniu podejścia systemowego opartego na analizie ryzyka związanego ze zmiennością zagrożeń.

Arkadiusz Trzos^{a),b)*}, Karol Łyziński^{a),c)}, Kamil Jurowski^{a)}

^{a)} Jagiellonian University Medical College, The Chair of Anaesthesiology and Intensive Care, The Department of Disaster Medicine and Emergency Care / Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum, Wydział Lekarski, Katedra Anestezjologii i Intensywnej Terapii, Zakład Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej

^{b)} Atmed Medycyna i Edukacja

^{c)} Krakow Emergency Medical Services / Krakowskie Pogotowie Ratunkowe

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: a.trzos@uj.edu.pl

Emergency Medical Services in CBRNE/HAZMAT Incidents

Ratownictwo medyczne w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT

ABSTRACT

Aim: The purpose of the study is to work out a new emergency medical service (EMS) tactic to be employed in CBRNE/HAZMAT incidents, which would allow performing emergency medical procedures in the area so far inaccessible to the State Emergency Medical System (Polish abbreviation: PRM).

Project and methods: Incidents involving new hazardous materials, especially terrorist ones, demand emergency services to be well prepared in order to respond accordingly. Latest technological advances regarding both personal protective equipment (PPE) for preventing contamination and respiratory protection equipment bring effective and safe methods of medical professionals' protection at every stage of rescue operations being performed. The research study was conducted in 2016–2018 and its main focus was on providing medical care at all stages of rescue operations. The CBRNE/HAZMAT incident procedures of the State Emergency Medical System (PRM), the National Firefighting and Rescue System (KSRG), the Bureau of Anti-Terrorist Operations of the National Police Headquarters (BOA KGP) and the Epidemiological Response Centre of the Polish Armed Forces (CRESZ) were thoroughly analysed. An analysis of procedural shortcomings within rescue operations of all services was also conducted. In addition, the PPE for preventing contamination and the respiratory protection equipment that is used by various emergency services and may also be applied within PRM operations was thoroughly examined.

Results: Based on the study, a new EMS tactic was developed using the available PPE, a management system of rescue operations and a model of organisation of any operations. The in-depth analysis of PPE for preventing contamination and respiratory protection equipment indicated new solutions and methods for protecting professionals of the State Emergency Medical System (PRM) while providing pre-hospital and hospital care (in Hospital Emergency Departments). A set of training drills employing new tactics and PPE indicated real possibilities to transfer new solutions to EMS that would compensate the shortcomings identified within the procedures of responses at the subsequent stages of CBRNE/HAZMAT incidents.

Conclusions: The suggested tactic of emergency medical services shall enhance the effectiveness of the emergency rescue system in CBRNE/HAZMAT incidents as it enables emergency medical procedures (Polish abbreviation: MCR) to be more promptly performed in patients with life-threatening conditions, along with providing medical care at all stages of rescue operations.

Keywords: CBRNE, HAZMAT, Personal Protective Equipment (PPE), PRM system

Type of article: short scientific report

Received: 10.09.2019; Reviewed: 12.11.2019; Accepted: 17.12.2019;

Authors' ORCID IDs: A. Trzos – 0000-0002-4390-0901; K. Łyziński – 0000-0003-3292-2459; K. Jurowski – 0000-0003-0310-2849;

Percentage contribution: A. Trzos – 60%; K. Łyziński – 30%; K. Jurowski – 10%;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 142–159, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.11>;

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 badania było wypracowanie nowej taktyki ratownictwa medycznego działającego w warunkach zdarzeń CBRNE/HAZMAT, pozwalającej na podjęcie medycznych czynności ratunkowych (MCR) w obszarze dotychczas niedostępnym dla systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne (PRM).

Projekt i metody: Powstanie nowych zagrożeń ze strony materiałów niebezpiecznych, zwłaszcza zagrożeń o charakterze terrorystycznym, wymusza właściwe przygotowanie służb ratowniczych do reagowania. Postęp techniczny w obszarze środków ochrony przed skażeniami i środków ochrony dróg oddechowych pozwala obecnie na opracowanie bezpiecznych i skutecznych metod ochrony personelu medycznego. Badanie przeprowadzone zostało w latach 2016–2018. Skupiono się w nim nad możliwością udzielania pomocy medycznej na wszystkich etapach działań ratowniczych. Przeanalizowano procedury postępowania systemu PRM, Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (KSRG) i jednostek kontrterrorystycznych Biura Operacji Antyterrorystycznych Komendy Głównej Policji (BOA KGP), Centrum Reagowania Epidemiologicznego Sił Zbrojnych RP (CRESZ) przewidzianych do wykorzystania w incydentach CBRNE/HAZMAT. Dokonano analizy luk w obszarze udzielania pomocy medycznej poszkodowanym w ramach dotychczas stosowanej

taktyki działania każdej ze służb. W trakcie badania przeanalizowano indywidualne środki ochrony przed skażeniami i środki ochrony dróg oddechowych wykorzystywane w poszczególnych służbach pod kątem możliwości ich zastosowania w obszarze systemu PRM.

Wyniki: Na podstawie przeprowadzonych badań wypracowano nową taktykę ratownictwa medycznego, opierającą się na wyposażeniu w indywidualne środki ochrony, nowym systemie zarządzania i nowym modelu organizacji działań. Prowadzona analiza możliwości wykorzystania indywidualnych środków ochrony przed skażeniami i środków ochrony dróg oddechowych pozwoliła na wypracowanie nowych zasad ochrony personelu medycznego systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne. Przeprowadzone ćwiczenia wykazały możliwość implementacji nowych rozwiązań do systemu ratowniczego oraz uzupełnienie procedur postępowania na kolejnych etapach działań ratowniczych w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT.

Wnioski: Proponowana nowa taktyka ratownictwa medycznego poprawia efektywność systemu ratowniczego w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT, poprzez umożliwienie wcześniejszego podjęcia medycznych czynności ratunkowych w stanach zagrożenia życia oraz zabezpieczenia medycznego pacjentów na wszystkich etapach prowadzenia działań ratowniczych.

Słowa kluczowe: CBRNE, HAZMAT, środki ochrony indywidualnej (ŚOI), system PRM

Typ artykułu: doniesienie wstępne

Przyjęty: 10.09.2019; **Zrecenzowany:** 12.11.2019; **Zatwierdzony:** 17.12.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: A. Trzos – 0000-0002-4390-0901; K. Łyziński – 0000-0003-3292-2459; K. Jurowski – 0000-0003-0310-2849;

Procentowy wkład merytoryczny: A. Trzos – 60%; K. Łyziński – 30%; K. Jurowski – 10%

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 142–159, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.11>;

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

Introduction

The National Firefighting and Rescue System, according to Polish legislation, (Polish: *Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy*, KSRG) responds to hazardous materials incidents [1–2] and cooperates with the police units, the State Emergency Medical System (*Państwowe Ratownictwo Medyczne*, PRM) and specialised military units if needed to maintain its effective performance. They all share common procedures of operations that begin with a received emergency call, continue while performing any rescue operations at the incident scene and transferring the casualty to the hospital, and end with medical treatment provided in specialist medical centres. Many factors may impede communication between these services (and in consequence determine an effective management of rescue operations) as each group represents different objectives and operational methods, scopes and skills, as well as equipment and training. Constant advances in management and control systems, personal protective equipment (PPE) for preventing contamination, respiratory protection equipment, detection and hazardous material identification systems, decontamination methods, transport procedures and medical treatment have encouraged changes in the model of responses in the events where additional threats resulting from the presence of hazardous materials are involved. Currently, in order to improve operational efficiency, the emergency medical system is undergoing considerable changes which mainly refer to the medical professionals' approach.

Challenge

Hazardous materials are expected to become a major threat for the population in the 21st century [3–6] as predicted by researchers whose main focus is on current and impending threats. This stems from the fact that biological, chemical, ra-

Wprowadzenie

Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy (KSRG) ustawowo jest powołany do reagowania na incydenty z udziałem materiałów niebezpiecznych [1–2]. Jednak w celu pełnego i skutecznego działania wymagana jest współpraca z jednostkami Policji, systemem Państwowego Ratownictwa Medycznego (PRM) oraz – w szczególnych sytuacjach – specjalistycznymi jednostkami wojska. Należy zauważyć, że występuje tutaj wzajemne przenikanie się procedur postępowania realizowanych przez poszczególne podmioty, począwszy od momentu przyjęcia zgłoszenia, rozpoczęcia i prowadzenia działań na miejscu zdarzenia, poprzez transport ofiar do szpitali, a kończąc na leczeniu w wyspecjalizowanym ośrodku medycznym. Na trudności we wzajemnym komunikowaniu i zrozumieniu (a w konsekwencji w sprawnym zarządzaniu działaniami ratowniczymi) wpływa wiele czynników. Można do nich zaliczyć przede wszystkim: różnorodność celów do osiągnięcia przez każdą ze służb, metody ich osiągnięcia, różny zakres i możliwości realizowania swoich zadań, odmienności w wyposażeniu oraz wyszkoleniu poszczególnych służb. Stały postęp w rozwoju systemów zarządzania i kontroli, indywidualnego sprzętu ochronnego zabezpieczającego przed skażeniami i sprzętu ochrony dróg oddechowych, systemów detekcji i identyfikacji materiałów niebezpiecznych, środków i metod dekontaminacji, zasad transportu i możliwości leczenia, zmienia model reagowania w zdarzeniach, w których występują dodatkowe zagrożenia wynikające z obecności materiałów niebezpiecznych. Najwięcej modyfikacji, mających na celu zwiększenie efektywności działania, dokonuje się obecnie w systemie ratownictwa medycznego. Modyfikacje te obejmują – obok wyposażenia i korekty procedur postępowania – przede wszystkim zmianę mentalności personelu medycznego.

Wyzwanie

Według przewidywań naukowców zajmujących się problematyką współczesnych i nadchodzących zagrożeń, materiały niebezpieczne stanowiąc będą jedno z głównych zagrożeń dla ludności w XXI wieku [3–6]. Znajdują one swoje źródło w czynnikach biologicznych, che-

diation and nuclear agents might be used as weapons of mass destruction (WMD) or be released into the environment in the course of technical breakdowns, which is the most probable occurrence in Poland. As reported by the National Headquarters of the State Fire Service, in 2016 there were 415 plants located in Poland which were likely to experience a serious industrial failure due to hazardous materials being stored. 179 plants were qualified as high-hazard worksites, and 236 as increased-risk worksites [7].

Exposure to hazardous materials may be dangerous both to incident casualties and medical rescue workers involved in providing medical care.

Much is yet to be done when it comes to training medical staff on how to effectively respond to the above mentioned threats. Various studies have revealed a gap in medical professionals' knowledge and skills at all stages (pre-hospital, early hospital and specialised care) [8–11]. There is a clear trend to introduce some changes to solve the problem, which was recognised by the Department of Disaster Medicine and Emergency Care, the Chair of Anaesthesiology and Intensive Care, at the Jagiellonian University Medical College in Krakow.

All the changes in environmental conditions which medical professionals need to face require an appropriate protection of rescue teams including the medical staff (depending on the type and size of the threat). They need to be provided with PPE, e.g., respiratory protection equipment and protective equipment to prevent contamination of the skin (protective suits). Accessibility to such a type of protective equipment changes the rescue responses. A conventional approach "it is dangerous so I am not in" is already gone. Nowadays, the medical rescue management related to hazardous materials incidents is no longer procedural but based on knowledge, risk analyses, and accurate management of available resources, and both the negative and potentially positive consequences are duly considered. Such a change stems from different society's expectations due to an increased awareness of existing threats and a different approach taken by medical professionals, resulting from a wider knowledge and accessibility of PPE to prevent contamination and respiratory protection equipment.

Emergency medical services define the term *hazardous materials* as each and every CBRN substance which is potentially life-threatening and hazardous to health, irrespective of whether a single or mass casualties may be involved, or general public health may be at stake. Thus, emergency medical services face the challenge of improving responses to the above events regardless of the type, size and number of casualties.

The medical staff may be exposed to hazardous materials in two types of events: accidental and intentional. The accidental event is caused by an accident, breakdown, fire or disaster – the so called HAZMAT (hazardous materials) [12]. The chemicals, especially toxic industrial chemicals, released to the environment are highly dangerous and lead to mass casualty incidents [3]. Another burning issue is the outbreaks of infectious diseases (epidemics) and the radiation threat. The Chernobyl nuclear power plant disaster in 1986 [13], the accident at the Three Mile Island nuclear power station in 1979 [14] or the dramatic consequences

micznych, radiacyjnych i nuklearnych, które mogą być użyte jako broń masowego rażenia lub zostać uwolnione w wyniku awarii technicznych (co jest najbardziej aktualnym zagrożeniem w warunkach polskich). Tylko według danych Komendy Głównej PSP z 2016 roku w Polsce prowadziło działalność 415 zakładów przemysłowych, w których istnieje możliwość wystąpienia poważnej awarii przemysłowej ze względu na przechowywane w nich materiałów niebezpiecznych. Do zakładów dużego ryzyka (ZDR) zaliczono 179 placówek, a 236 do zakładów zwiększonego ryzyka (ZZR) [7].

Ekspozycja na materiały niebezpieczne powoduje ryzyko dla życia i zdrowia nie tylko samych uczestników zdarzenia, ale także personelu ratowniczego zaangażowanego w udzielanie pomocy medycznej.

Przygotowanie personelu medycznego do działań wobec opisywanych zagrożeń jest jeszcze dalekie od doskonałości. Liczne badania potwierdzają lukę wiedzy i umiejętności wśród personelu medycznego wszystkich poziomów (opieka przedszpitalna, wczesnoszpitalna, specjalistyczna) [8–11]. Jednocześnie widoczna jest także tendencja do zmiany i rozwiązania tego problemu. Został on także dostrzeżony w Zakładzie Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej, Wydziału Lekarskiego, Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum w Krakowie.

Zmiana warunków środowiskowych, w których przychodzi działać służbom medycznym wymaga odpowiedniego zabezpieczenia personelu ratowniczego (w tym medycznego) – w zależności od rodzaju i wielkości zagrożenia – w środki ochrony indywidualnej (ŚOI), tj. środki ochrony dróg oddechowych i środki ochrony przed skażeniem skóry (kombinezony ochronne). Dostępność tego typu środków ochrony pozwala na zmianę sposobu reagowania ratownictwa medycznego. Tradycyjna postawa personelu medycznego wyrażająca się zdaniem „jest niebezpiecznie, więc nie wchodzi” zdecydowanie przechodzi już do historii. Współcześnie, w obszarze zarządzania, podejście do problematyki udzielania pomocy poszkodowanym w incydentach z udziałem materiałów niebezpiecznych jest mniej proceduralne, bardziej otwarte, oparte na wiedzy, analizie ryzyka, zarządzaniu dostępnymi zasobami, w tym ocenie negatywnych konsekwencji i potencjalnych korzyści. Zmiana podejścia wymuszona została zarówno wzrostem oczekiwań społeczeństwa wynikającym z większej świadomości zagrożeń, jak i zmiany podejścia personelu medycznego, którego przyczyny należy szukać w rozwoju wiedzy z tego obszaru ratownictwa oraz w świadomości dostępności indywidualnych środków ochrony przed skażeniami i środków ochrony dróg oddechowych pozwalających na bezpieczne działania.

W ratownictwie medycznym pod pojęciem materiału niebezpiecznego rozumie się każdą substancję pochodzenia biologicznego, chemicznego, radiacyjnego i nuklearnego, która działając na organizm, powoduje poważne zagrożenie zdrowia lub życia – niezależnie od tego, czy stanowi zagrożenie wyłącznie dla pojedynczej osoby czy ma możliwość wywołania strat masowych, czy wręcz stanowi zagrożenie dla zdrowia publicznego. Stąd ratownictwo medyczne podejmuje przygotowania do reagowania na tego typu zdarzenia niezależnie od jego charakteru, rozmiaru i liczby ofiar.

Personel medyczny może zostać narażony na kontakt z materiałem niebezpiecznym w dwóch rodzajach zdarzeń. Pierwsze to zdarzenia powstałe w sposób przypadkowy, w konsekwencji wypadku, awarii, pożaru, katastrofy. Mówimy wtedy o zagrożeniach HAZMAT

of tsunamis on the Fukushima nuclear power plant in 2011 [15] are but a few examples of such incidents.

The second type of incidents involves medical staff's exposure to hazardous materials released intentionally. The release is done for military (via combat operations), criminal or terrorist purposes. The emergency medical services use the CBRN acronym (*C – chemical, B – biology, R – radiological, N – Nuclear*) [16] and since such incidents usually involve the use of explosives, the CBRNE acronym is used (*E – explosive*) [3], [17].

In intentional incidents, chemical weapons are used, e.g., sarin [3], [18] in Tokyo in 1995 or Novichok [3], [19] (Russian *Новичок* – novice). Terrorist acts often involve the use of easily available poisons, toxic industrial chemicals (e.g., chlorine, ammonia) or biological agents (e.g., anthrax spores, botulinum toxin).

The division into those groups in terms of rescue tactics and operational organisation is reasonable. No natural sequence of events, intercurrent tactical threats (firearms), a control factor (an assassin), secondary risks (secondary explosives), or the extensity and often multidimensionality of events – all these require different priorities of actions. In CBRNE incidents, the delegated police units (anti-terrorism units) are in most cases the leading service responsible for the organisation and operations. It is crucial to eliminate “the control factor” first. Once it has been eliminated and a pyrotechnic risk of the scene and participants have been assessed, the event should proceed almost naturally, becoming manageable for the emergency medical services. From that moment, the course of rescue actions in both CBRNE and HAZMAT incidents will be similar. There is no dramatic difference between those two types of incidents from the medical perspective as the medical treatment provided in both cases is comparable. Hence, it is vital to develop medical strategies and equip the medical staff adequately to allow them to respond effectively.

The ability to operate and cooperate with other services in CBRNE/HAZMAT incidents becomes a paramount skill of emergency medical services facing existing and impending threats.

The emergency medical services operating worldwide have already changed their approach towards patient care and responses to critical hazards in every zone and at every stage of rescue operations [20–21].

(ang. *Hazardous Materials*) [12]. W tej grupie zagrożeń szczególnie niebezpieczne są uwolnione do środowiska środki chemiczne, w tym toksyczne środki przemysłowe (TSP), które mogą powodować straty masowe [3]. Obok zagrożeń chemicznych coraz poważniejszym problemem staje się rozprzestrzenianie chorób zakaźnych (epidemie). Również zagrożenie radiacyjne pozostaje ciągle aktualne. Przykładem tego typu zdarzeń jest awaria w elektrowni jądrowej w Czarnobylu (1986) [13], wypadek w elektrowni jądrowej Three Mile Island (1979) [14] czy katastrofalny wpływ tsunami na elektrownię jądrową w Fukushima (2011) [15].

W drugim typie zdarzeń personel medyczny narażony zostaje na materiały niebezpieczne uwolnione do środowiska w sposób intencjonalny. Uwolnienie następuje w celach militarnych (podczas prowadzonych działań bojowych), kryminalnych lub terrorystycznych. Dla tej grupy zdarzeń używany jest w ratownictwie medycznym akronim CBRN (ang. *C – Chemical, B – Biological, R – Radiological, N – Nuclear*) [16]. Jako że w podobnych incydentach substancje niebezpieczne nierzadko rozprzestrzeniane są przy wykorzystaniu materiałów wybuchowych, tego typu zagrożenia określane są przy użyciu akronimu CBRNE (ang. *E – Explosive*) [3], [17].

W zagrożeniach intencjonalnych wykorzystywane są przede wszystkim bojowe środki trujące (BST), jak na przykład sarin użyty w Salisbury w 2016 roku (ros. *Новичок* – nowicjusz) [3], [19]. Nie można jednak wykluczyć użycia w celach terrorystycznych trucizn ogólnie dostępnych, toksycznych środków przemysłowych (np. chloru, amoniaku), czy czynników pochodzenia biologicznego (np. przetrwalników węgliku, toksyny jadu kiełbasianego).

Podział zdarzeń na wymienione powyżej dwie grupy jest w pełni zrozumiały z punktu widzenia taktyki ratowniczej i sposobu organizacji działań. Brak naturalnego przebiegu zdarzenia, współistniejące zagrożenia taktyczne (broń palna), obecność czynnika sterującego zdarzeniem (zamachowiec), ryzyko wtórnych zagrożeń (wtórne ładunki wybuchowe), rozległość czy nierzadko wielopunktowość zdarzenia wymuszają odmienne priorytety działania. W zagrożeniach CBRNE odpowiedzialne za organizację i prowadzenie działań są najczęściej wydzielone jednostki policji (pododdziały kontrterrorystyczne). Ich kluczową rolą w pierwszej kolejności jest unieszkodliwienie czynnika sterującego zdarzeniem. Następnie przeprowadzana jest kontrola pirotechniczna miejsca i uczestników zdarzenia. Od tego momentu incydent będzie miał przebieg zbliżony do naturalnego, co pozwoli na zastosowanie ratowniczego systemu zarządzania. Scenariusz działań ratowniczych, zarówno w przypadku zdarzeń CBRNE, jak i HAZMAT będzie odtąd podobny. Dotyczy to również sposobu postępowania z pacjentami. Dlatego należy wypracować odpowiednią taktykę medyczną i propozycję wyposażenia personelu medycznego, pozwalających na skuteczne działanie w obu rodzajach zdarzeń.

W dobie już istniejących i nadchodzących w niedalekiej przyszłości zagrożeń umiejętność poprawnego działania i współdziałania ratownictwa medycznego z innymi podmiotami w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT staje się zatem ważną – wręcz priorytetową – sprawnością medycznych służb ratunkowych.

Obecnie światowe ratownictwo medyczne zmienia swoje podejście do opieki nad pacjentem i sposobem reagowania w sytuacjach krytycznych zagrożeń dla życia w każdej strefie i na każdym etapie postępowania ratowniczego [20–21].

Research Material and Method

The possible ways to improve the effectiveness of rescue operations in CBRNE/HAZMAT incidents were investigated. The research was conducted in the Department of Disaster Medicine and Emergency Care at the Jagiellonian University Medical College in Krakow in 2015–2018. The methodology of the research consisted of the following:

- 1) an analysis of source materials, i.e., the literature review of available procedures (both Polish and foreign);
- 2) a critical analysis of the existing procedures and equipment of the National Firefighting and Rescue System, the Bureau of Anti-Terrorist Operations of the National Police Headquarters and the Epidemiological Response Centre of the Polish Armed Forces;
- 3) a comparative analysis, i.e., direct observations of responses to CBRNE incidents of the Polish emergency medical services and Israeli services in Tel Aviv (2016);
- 4) paramedics of the National Firefighting and Rescue System, medical professionals of the National Emergency Medical Services, police officers of the Bureau of Anti-Terrorist Operations, and paramedics of the Epidemiological Response Centre took part in drills with the use of different types of protective suits to evaluate their utility. The drills were followed by the exchange of experiences and possible solutions were discussed.

Based on the research, a new tactical solution was developed as a result of preliminary pilot studies aiming at establishing new detailed procedures and protocols of EMS responses to CBRNE/HAZMAT incidents. The aforementioned objectives are to be achieved within the project titled “Developing National Strategies for Responses to CBRNE events – coordination and standardisation” which forms part of the Norway Grants funding scheme 2019–2024.

Research Outcomes

The new tactic is a combination of theoretical and practical skills used to manage accessible resources in order to accomplish the objective. Its nature depends on the organisational structure, the management system and logistics resources. The tactical solution assigns new tasks to the emergency medical services. The proposed changes are as follows:

- ensuring an early threat identification,
- securing the incident scene,
- evacuating casualties from the danger zone,
- performing triage, providing critical care services and preparing for decontamination,
- performing decontamination, patient supervision during the decontamination process and supervising its conduct,
- securing patients in medical stations and preparing them for transport,

Materiał i metoda

Badania miały na celu ocenę możliwości zwiększenia efektywności prowadzonych działań ratunkowych w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT. Prace prowadzone były w Zakładzie Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium-Medicum w Krakowie w latach 2015–2018. Na metodykę badań składały się:

- 1) analiza materiału źródłowego tj. przegląd materiału i procedur postępowania dostępnych w literaturze przedmiotu (krajowej i zagranicznej);
- 2) krytyczna analiza funkcjonujących obecnie procedur postępowania i wyposażenia systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne (PRM), Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (KSRG), jednostki kontrterrorystycznej Biura Operacji Antyterrorystycznych Komendy Głównej Policji (BOA KGP) oraz Centrum Reagowania Epidemiologicznego Sił Zbrojnych RP (CRESZ RP);
- 3) analiza porównawcza – obserwacja bezpośrednia sposobu reagowania na zagrożenia CBRNE polskich służb ratowniczych i służb izraelskich w Tel Aviwie (2016 r.);
- 4) wspólne ćwiczenia z ratownikami systemu KSRG, personelem medycznym systemu PRM, policjantami BOA KGP i ratownikami CRESZ; z zastosowaniem różnych typów kombinezonów ochronnych, ocena ich przydatności w badanych sytuacjach. Po ćwiczeniach wymieniono się doświadczeniami i poddano analizie możliwe rozwiązania.

Na podstawie przeprowadzonych badań wypracowano koncepcję nowej taktyki, która stanowi efekt pilotażowych badań wstępnych do opracowania szczegółowych procedur i protokołów postępowania dla ratownictwa medycznego w obszarze reagowania na zagrożenia CBRNE/HAZMAT. Wspomniane cele będą opracowywane w ramach projektu „Opracowanie krajowej strategii reagowania na zagrożenia CBRNE – koordynacja i standaryzacja” realizowanego w ramach Grantu Norweskiego w latach 2019–2024.

Wyniki badań

Taktyka to teoria i praktyka posługiwania się posiadanymi na miejscu zasobami dla osiągnięcia zamierzonego celu. Uzależniona jest ona ściśle od struktury organizacyjnej, systemu zarządzania i zasobów logistycznych. W ramach proponowanej nowej taktyki działania ratownictwo medyczne otrzymuje nowe zadania do wykonania. Proponowane zmiany obejmują następujące obszary:

- wstępne rozpoznanie zagrożenia,
- wstępne zabezpieczenie miejsca zdarzenia,
- ewakuację poszkodowanych ze strefy zagrożenia,
- triage, interwencje krytyczne i przygotowanie do dekontaminacji,
- dekontaminację, nadzór nad pacjentem w jej trakcie i kontrolę jej wykonania,
- zabezpieczenie pacjentów w punkcie medycznym i przygotowanie do transportu,
- podjęcie i prowadzenie „czystego” i „brudnego” transportu,

- undertaking “clean” and “dirty” transport
- providing medical support for all rescue operations.

Some of the above tasks may be carried out by individual services, especially in the case of biological incidents, except for the occurrence of highly contagious diseases. In most CBRNE incidents, cooperation with the National Firefighting and Rescue System, police units and delegated military units (especially when chemical weapon agents, CWAs, are involved) is essential in military and terrorist incidents.

- zabezpieczenie medyczne prowadzonych działań ratowniczych.

Część z przedstawionych powyżej zadań będzie mogła być wykonywana przez ratowników bez wsparcia innych służb. Sytuacja ta dotyczyć będzie przede wszystkim zagrożeń biologicznych, z wyjątkiem podejrzenia o występowanie choroby wysoce zakaźnej szczególnie niebezpiecznej. W pozostałych przypadkach (CBRNE) wymagane będzie współdziałanie ratowników medycznych z systemem KSRG, pododdziałami policji i – w szczególnych sytuacjach – z wydzielonymi jednostkami wojska (użycie bojowych środków trujących, BST) w obszarach reagowania na zagrożenia militarne i terrorystyczne.



Figure 1. Medical teams entering the hot zone (Tel Aviv, Israel 2016)

Rycina 1. Wejście zespołów medycznych do strefy gorącej (Tel Awiw, Izrael, 2016)

Source: The authors' archives.

Źródło: Archiwum własne.

From the patient's perspective, it is crucial to eliminate exposure to the hazardous factor, to perform triage and to immediately start life-support activities if needed. In the event of HAZMAT contamination, a prompt evacuation from the danger zone, triage and early decontamination are essential.

Z punktu widzenia pacjenta najważniejsze jest jak najszybsze przerwanie ekspozycji na działanie czynnika niebezpiecznego, a następnie przeprowadzenie triage'u i natychmiastowe podjęcie czynności resuscytacyjnych w grupie pacjentów tego wymagających. Priorytetem pozostaje ewakuacja ze strefy bezpośredniego zagrożenia, a następnie wykonanie triage'u i wstępnej dekontaminacji, jeśli doszło do skażenia materiałem niebezpiecznym.

Organisation of Rescue Operations

Three safety zones have been defined for the purposes of the management system of Emergency Medical Services and effective medical operations:

- the hot zone,

Organizacja działań ratunkowych

Na potrzeby systemu zarządzania ratownictwa medycznego i efektywnego prowadzenia działań medycznych wyróżniono trzy strefy bezpieczeństwa:

- strefę gorącą,

- the warm zone, and
- the cold zone.

In medical sciences the hot zone is defined as an area within which a casualty (or casualties) is exposed to a hazardous substance. Entering this zone requires certain safety conditions to be met, i.e., applying protection equipment to prevent contamination as well as respiratory protection equipment (see Figure 1).

Medical operations in chemical and radiation incidents performed in the hot zone are limited to life-support activities, e.g., haemorrhage control, airway management and securing the patient to allow safe transfer. Biological incidents require a different approach, and more advanced medical and rescue procedures where a specific biological (epidemic) threat has been identified. Biological incidents require a detailed analysis and a separate research paper.

The warm zone is an area in which a hazardous substance does not occur originally. This is, therefore, where the casualties are primarily directed. In the course of an evacuation process, a hazardous substance may be transferred into the evacuation path and an area which the casualties are transferred to. Thus, this zone requires additional PPE to be used by the paramedics involved. In the warm zone, preliminary triage, cardiopulmonary resuscitation (CPR), and basic and advanced life-support activities are performed. In addition, the type and order of decontamination must be determined and any preparation for decontamination procedures applied if required.

The cold zone is the remaining area in which the hazardous substance is not present in the quantity that would pose any danger to care providers equipped with basic protection equipment.

Such a zone division enables risk management and, therefore, a proper organisation of medical activities, staff and equipment resources management, including PPE for preventing contamination and respiratory protection equipment. The organisation of all operations in compliance with the described model is presented in Figure 2.

Existing threats demand that the 3-zone division be employed and that rescue operations be performed in all 3 zones, **provided the operations are medically necessary and meet all the safety requirements**. The way the medical staff is managed at the incident scene and in all zones is based on potential benefits in every zone, their competences in the field of medical care provision and the available PPE enabling them to provide care. The EMS management policy/strategy blends into the National Firefighting and Rescue System as well as provides grounds for the tactical decisions made by the police and military units.

- strefę ciepłą,
- strefę zimną.

W naukach medycznych strefa gorąca rozumiana jest jako obszar, w którym występuje substancja niebezpieczna i w którym znajduje się ofiara będąca pod jej działaniem. Wejście do strefy wymaga spełnienia określonych warunków bezpieczeństwa, w tym wykorzystania środków ochrony przed skażeniami i środków ochrony dróg oddechowych (ryc. 1).

Działania medyczne podczas incydentów chemicznych i radiacyjnych podejmowane w tej strefie są mocno ograniczone i sprowadzają się praktycznie do prostych czynności ratujących życie, np. tamowania krwotoku, zabezpieczenia drożności dróg oddechowych, zabezpieczenia pacjenta na czas ewakuacji. Zagrożenia biologiczne cechuje odmienna specyfika postępowania, wymuszająca wykonanie w miejscu rozpoznania poważnego zagrożenia biologicznego (epidemicznego) bardziej złożonych i zaawansowanych czynności ratowniczo-medycznych. Specyfika zagrożeń biologicznych wymaga szczegółowego omówienia w oddzielnym opracowaniu.

Strefa ciepła to obszar, w którym pierwotnie nie występuje już substancja niebezpieczna w środowisku. Stąd ewakuacja odbywa się właśnie do tej strefy, pierwotnie czystej. W wyniku ewakuacji substancja niebezpieczna może zostać rozproszona na drodze ewakuacji i w miejscu pozostawienia pacjenta. Z tego powodu w strefie tej wymagane jest stosowanie przez ratowników medycznych delegowanych do udzielania pomocy dodatkowych indywidualnych środków ochrony. Jest to obszar przewidziany do wykonania wstępnego triage'u, resuscytacji krążeniowo-oddechowej i innych zabiegów podtrzymujących pacjenta przy życiu, zabezpieczenia jego podstawowych funkcji życiowych oraz określenia rodzaju i kolejności dekontaminacji, przygotowania do niej – jeżeli jest ona wymagana w danym zdarzeniu.

Strefa zimna to pozostały obszar, w którym nie występuje już substancja niebezpieczna w ilościach (stężeniu) stanowiących zagrożenie dla personelu medycznego stosującego rutynowe środki ochrony osobistej.

Podzielenie obszaru zdarzenia na strefy ułatwia zarządzanie ryzykiem, a w konsekwencji odpowiednią organizację działań medycznych, zarządzanie personelem medycznym i wykorzystanie zasobów logistycznych (sprzętowych), w tym indywidualnych środków ochrony przed skażeniami i ochrony dróg oddechowych. Organizację działań według opisanego modelu przedstawia rycina 2.

W odpowiedzi na współczesne zagrożenia ratownictwo medyczne przewidziane jest do wykorzystania w każdej z wymienionych stref – **o ile to działanie jest uzasadnione z medycznego punktu widzenia i są możliwości spełnienia niezbędnych warunków bezpieczeństwa**. Sposób zarządzania personelem medycznym na miejscu zdarzenia i delegowanie go do poszczególnych stref uwzględnia zasadność i korzyści jego wykorzystania w konkretnych strefach, a także jego kompetencje w zakresie udzielania pomocy i dostępne środki ochrony osobistej to umożliwiają. Ratownictwo medyczne integruje swój model zarządzania z istniejącym na miejscu modelem kierowania KSRG, jak również z działaniami taktycznymi podejmowanymi przez pododdziały policji lub wojska.

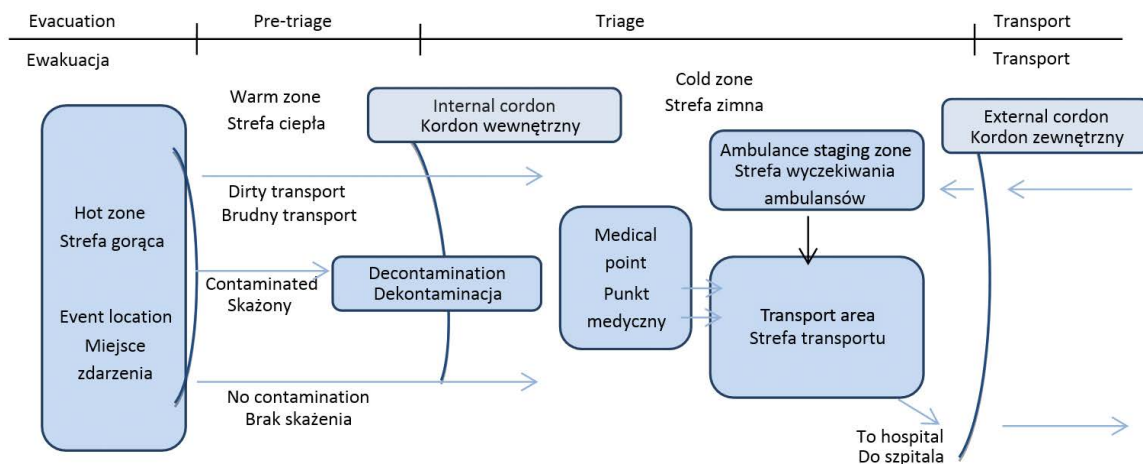


Figure 2. The organization of medical response to CBRNE/HAZMAT incidents

Rycina 2. Organizacja działań ratunkowych w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT

Source: The authors' archives.

Źródło: Archiwum własne.

Resource Management of PRM System

A new approach has called for establishing task forces which are to perform specific tasks (functions) that form part of the irreplaceable sequence of operations. The basic functions are as follows:

- management / coordination,
- safety (new),
- triage,
- decontamination,
- medical treatment/procedures,
- transport,
- staging.

Each task force consists of METs or individuals (executors) and persons in control (duty-holders, task force coordinators).

The position of a medical operations coordinator involves the organisation of medical operations, developing medical tactics/tactical solutions for a specific incident, and the management of medical operations. A medical operations coordinator designates persons selected from heads/coordinators of emergency medical teams at the scene, assigns/delegates tasks and coordinates their cooperation. Then, the coordinator supervises the cooperation of a dispatcher of the State Emergency Medical System, the National Firefighting and Rescue System, while remaining in contact with the rescue operations coordinator, volunteers and support groups, etc. The medical operations coordinator reports directly to the rescue operations coordinator and performs all the assigned tasks in accordance with the strategy they previously agreed on. The medical operations coordinator decides upon establishing medical headquarters to help gather, process and reach necessary decisions (see Figure 3).

Zarządzanie zasobami systemu PRM

W nowej taktyce ratownictwa medycznego wypracowano grupy zadaniowe, które realizują określone zadania (funkcje) stanowiące pojedyncze ogniwa w łańcuchu niezbędnych do wykonania czynności. Podstawowe funkcje to:

- kierowanie/koordynacja,
- bezpieczeństwo (nowość),
- triage,
- dekontaminacja,
- leczenie,
- transport,
- odwód.

W każdej grupie zadaniowej znajdują się zespoły ratownictwa medycznego lub pojedyncze osoby realizujące określone zadania (wykonawcy) oraz osoby, które będą kierowały ich działaniem (osoby funkcyjne, kierownicy grup zadaniowych).

Rolą kierującego akcją medyczną (KAM) – wg obowiązującej nomenklatury – jest organizacja działań medycznych, wypracowanie optymalnej dla danego zdarzenia taktyki medycznej, zarządzanie medyczną częścią akcji ratowniczej. KAM wyznacza osoby do realizacji określonych zadań (funkcyjni) spośród kierowników przybywających na miejsce zespołów ratownictwa medycznego (ZRM). KAM stawia im zadania do wykonania i koordynuje współpracę pomiędzy nimi. W dalszej kolejności koordynuje współpracę z dyspozytorem systemu PRM, systemem KSRG, będąc w ścisłym kontakcie z kierującym działaniami ratowniczymi (KDR), wolontariuszami i grupami wsparcia itd. KAM podlega bezpośrednio pod kierującego działaniami ratowniczymi i realizuje zadania przez niego przydzielone, zgodnie z wypracowaną wspólnie taktyką działania. Kierujący akcją medyczną decyduje o utworzeniu sztabu medycznego pomagającego w gromadzeniu, przetwarzaniu i wypracowywaniu niezbędnych decyzji (zob. ryc.3).



Figure 3. The medical command post (Tel Aviv, Izrael, 2016)

Rycina 3. Stanowisko dowodzenia dla służb medycznych (Tel Awiw, Izrael, 2016)

Source: The authors' archives.

Źródło: Archiwum własne.

The range of tasks and the field of action of the triage group in CBRNE/HAZMAT incidents expands and gets divided into two zones (warm and cold). Pre-triage may be performed in the hot zone for evacuation purposes. In biological incidents, pre-triage and triage are both done in hot zones while in CBRNE incidents pyrotechnic triage may be essential before the medical staff starts providing care to the casualties. Pre-triage is performed at the casualty collection point (CCP) in front of the so-called mass decontamination tent in the hot zone and repeated in the cold zone once the decontamination process is finished. After the evacuation from the danger zone, where providing any medical attention is impossible, triage teams wearing personal protection equipment perform triage according to the ABCDE approach taking into consideration the impact of a hazardous agent on the casualty (element E in the ABCDE approach). This is how the right sequence and the scope of medical care to be provided, as well as the sequence and methods of decontamination are determined (see Figure 4).

The decontamination task force equipped with personal protection equipment supports firefighter-paramedics during the decontamination process and provides medical care. Some of the severely injured patients due to, e.g., blast injuries or poisoning require immediate medical care including life support (e.g., ventilation) during the decontamination process. At such an early stage, medical professionals (paramedics, doctors and nurses of the PRM system) may use antidotes (e.g., atropine) if a hazardous agent has been identified and the application of antidotes is medically justified.

The task force responsible for “treatment” performs triage, defines the scope of medical support which is given and prepares patients for transportation.

Zakres zadań i obszar działania grupy segregacyjnej triage w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT ulega poszerzeniu i rozdzieleniu na dwie strefy działań (ciepłą i zimną). Pierwsza segregacja, którą można określić jako pre-triage, odbywać się może już w strefie gorącej i będzie realizowana na potrzeby ewakuacji. W zagrożeniach biologicznych wstępny i właściwy triage będzie wykonywany w strefie gorącej.

W incydentach CBRNE może pojawić się konieczność wykonania triage'u (rozpoznania) pirotechnicznego przed dopuszczeniem do ofiar personelu ratowniczego. Triage wstępny realizowany będzie w punkcie zbiórki poszkodowanych umieszczonym przed namiotem dekontaminacyjnym w strefie ciepłej, a następnie powtórzony w strefie zimnej po jej wykonaniu. Po ewakuacji ze strefy bezpośredniego zagrożenia, w której nie ma właściwie możliwości udzielania pomocy medycznej, zespoły segregacyjne zabezpieczone w indywidualne środki ochrony dokonują segregacji zgodnie z podstawowymi algorytmami segregacyjnymi z uwzględnieniem wpływu czynnika niebezpiecznego na stan pacjenta (element E w algorytmie ABCDE). Tym sposobem ustalona zostaje kolejność i zakres udzielania pomocy oraz kolejność i sposób wykonania dekontaminacji. Ten model postępowania zilustrowano na rycinie 4.

Grupa zadaniowa „dekontaminacja” zabezpieczona w indywidualne środki ochrony udziela wsparcia ratownikom-strażakom podczas dekontaminacji i zabezpiecza pacjentów pod względem medycznym. Część poszkodowanych, będących w stanie ciężkim, np. w wyniku obrażeń powybuchowych lub zatrucia, wymaga zabezpieczenia medycznego podczas dekontaminacji, w tym wykonania w jej trakcie czynności utrzymujących i wspomagających podstawowe funkcje życiowe (np. prowadzenie wentylacji czynnej). Na tym wstępnym etapie obecność medyków (ratowników medycznych, lekarzy i pielęgniarek systemu PRM) pozwala także na zastosowanie specyficznych odtrutek (np. atropiny), o ile ich użycie na wczesnym etapie jest uzasadnione z medycznego punktu widzenia, a niebezpieczna substancja została już zidentyfikowana.

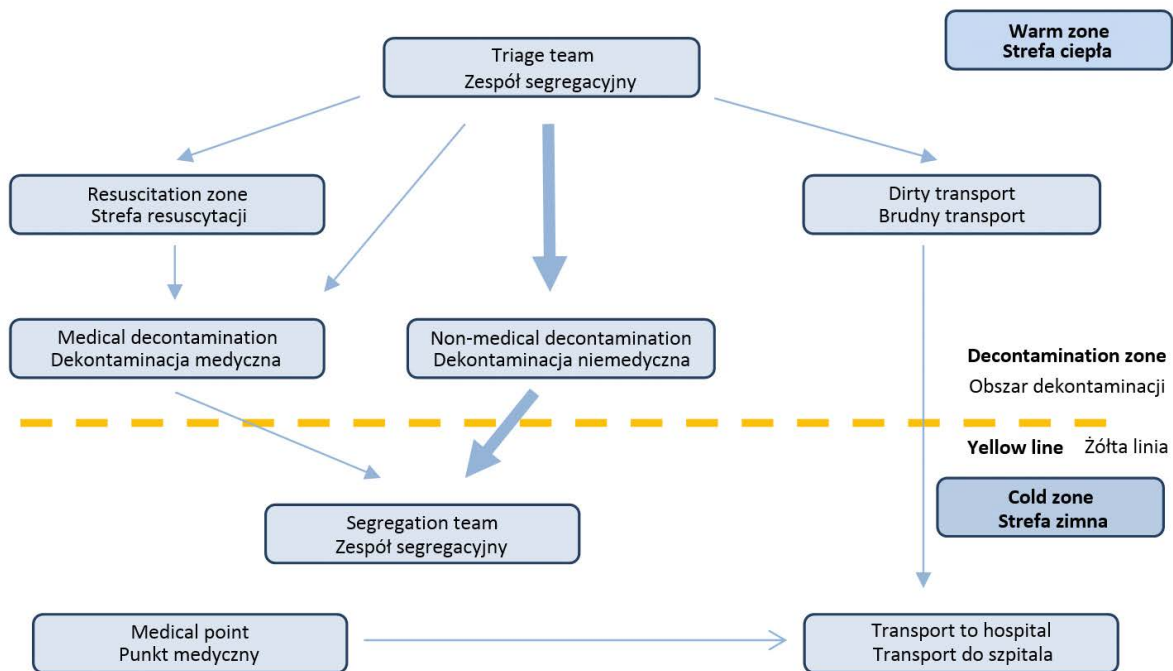


Figure 4. The organisation of medical response in the “warm zone”

Rycina 4. Organizacja działań ratunkowych w strefie ciepłej

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The task force responsible for “transportation” or a person in charge of transportation, manages ambulances at the incident scene, supervises equipment of emergency medical teams, and supervises the sequence of transportation and safe patients’ transport to transportation teams. Therefore, the “clean” and “dirty” transport from the incident scene to the “safety” task force, which ensures paramedics’ safety and protection, is done. “Dirty” transport is understood as the transport of a contaminated or infectious patient. Such transport requires special precautionary measures, use of PPE protection or isolation and transport chambers.

Task force or function body called “reserve” is responsible for the smooth functioning of the tactical reserve for medical rescue. In the place where the forces and means of rescue of the KSRG system are grouped, there is a separate sector in which emergency medical services and resources are grouped and then transferred to place of the event. A research study by Melnikova et al. has indicated that early responders, including especially firefighters and police officers, are commonly injured in chemical incidents, which proves the necessity for setting up a “safety” task force to support all participants and respondents of the incident, including the National Firefighting and Rescue System and the police [22]. Evaluating the extent of biological danger by constant monitoring of the levels of substances present in the environment, gathering, processing and passing data to the medical operations coordinator and the medical professionals involved in the rescue operations is a priority for this task force. Moreover, the

W punkcie medycznym grupa zadaniowa odpowiedzialna za „leczenie” dokonuje triage’u właściwego pacjentów, ustala zakres czynności niezbędnych do wykonania na miejscu. Realizuje te zadania, stosując właściwe dla danego pacjenta metody leczenia i przygotowuje pacjentów do transportu.

Grupa zadaniowa „transport” lub osoba funkcyjna odpowiedzialna za transport organizuje bezpieczny ruch ambulansów w rejonie zdarzenia, kontroluje odpowiednie do zadania wyposażenie zespołów ratownictwa medycznego, przestrzega kolejności transportu i bezpiecznego sposobu przekazania pacjentów zespołom transportowym. Tym sposobem organizuje i kontroluje przebieg „czystego” i „brudnego” transportu z miejsca zdarzenia do szpitali. „Brudny” transport rozumiany jest jako przewóz pacjenta skażonego lub zakaźnego. Taki transport wymaga zastosowania szczególnych środków ostrożności, zabezpieczenia w ŚOI lub wykorzystania komór izolacyjno-transportowych.

Grupa zadaniowa lub osoba funkcyjna „odwód” odpowiedzialna jest za sprawne funkcjonowanie odwodu taktycznego dla ratownictwa medycznego. W miejscu zgrupowania sił i środków ratownictwa systemu KSRG znajduje się wydzielony sektor dla sił i środków ratownictwa medycznego. Z tego miejsca dysponuje się nimi w miejsce zdarzenia w celu realizacji określonego zadania wynikającego z przyjętej taktyki działania.

Ze względu na stale istniejące zagrożenie dla bezpieczeństwa medyków i innych działających na miejscu służb uzasadnionym wydaje się wydzielenie w systemie zarządzania osoby funkcyjnej i grupy zadaniowej „bezpieczeństwo” mającej na celu zapewnić

group constantly monitors paramedics' physical and mental condition, and analyses their capabilities to perform assigned tasks considering the impact of PPE with the use of telemetry monitoring systems and to react accordingly in the case of emergency or physical/mental exhaustion that may disturb the completion of a given task.

CBRNE/HAZMAT Rescue Task Force

The State Emergency Medical System is required to respond effectively to new CBRNE/HAZMAT threats. Thus, new special units have been established both in the police and firefighting units, i.e., a counter-terrorist unit or a special rescue and firefighting unit including chemical and ecological rescue.

The solution is to establish the Rescue Task Force (RTF) in some of Hospital Emergency Departments, just like the Hazardous Area Response Team (HART) in Great Britain. HART units are made up of emergency medical personnel that is specially recruited and has gone through specialised training to provide medical care to the injured in a dangerous environment where conventional Emergency Medical Teams may fail. It is crucial to understand that HART units are to provide medical care to casualties in cooperation with other services, e.g., Fire and Rescue Services (FRS) in the UK, and are not to manage/handle the whole incident or an incident scene. Within the HART system, paramedics have been divided into more specific sections that respond to certain incidents, e.g., the Urban Search and Rescue (USAR) and the Tactical Medical Operations (TMO) [23–24].

The HART history goes back to 2004 when the Ambulance Service Association (ASA) and the Department of Health (in Great Britain) applied for a feasibility study to be conducted of the Emergency Medical Teams working within the inner safety cordon. As a result, a decision was made to investigate the possibility to train and equip the personnel of emergency medical services who could work safely in hazardous environments. Moreover, the terrorist bombings in London on 7 July 2005 [3], [21–22] triggered and accelerated the HART programme. HART units are based across England to support the EMS both locally and internationally.

The Rescue Task Forces would be based at ambulance stations in urban sites where specialised chemical and ecological rescue groups operate, and they would respond in cooperation with the Fire Service and support emergency departments and trauma centres. In towns and cities where the threat is minor, a solution is to train some members of the

nie bezpieczeństwa i ochronę również ratownikom medycznym. Badania Melnikovej i wsp. wskazują, że najczęściej w zdarzeniach chemicznych zostają poszkodowani strażacy i policjanci. Fakt ten dodatkowo uzasadnia utworzenie grupy zadaniowej „bezpieczeństwo” jako wsparcia dla wszystkich – nie tylko KSRG i policji [22]. Monitorowanie zmiennego w czasie poziomu zagrożenia w środowisku, w którym prowadzone są działania medyczne, gromadzenie, przetwarzanie i przesyłanie informacji do KAM i działających medyków to podstawowe zadanie tej grupy. Dodatkowo monitoruje ona stan fizyczny i psychiczny ratowników medycznych, analizuje możliwości realizacji przez nich zadań, mając na uwadze wpływ stosowanych indywidualnych środków ochrony na ratowników medycznych przy wykorzystaniu telemetrycznych systemów monitorujących, a także interweniuje w sytuacji pojawiającego się dla nich zagrożenia czy niemożliwości wykonania zadania wynikającego z nadmiernego wyczerpania psychicznego czy fizycznego.

Specjalistyczne grupy medyczne CBRNE/HAZMAT

Pojawiające się nowe zagrożenia CBRNE/HAZMAT wymagają odpowiedniego przygotowania systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne do skutecznego reagowania w tego typu zdarzeniach. Podobnie jak w policji i straży pożarnej, obok rutynowo działających jednostek, konieczne stało się przygotowanie jednostek specjalistycznych, np. jednostek kontrterrorystycznych czy specjalistycznych jednostek ratowniczo-gaśniczych o profilu chemiczno-ekologicznym.

Rozwiązaniem jest utworzenie specjalistycznych grup zadaniowych (ang. Rescue Task Force, RTF) ratownictwa medycznego w wybranych stacjach pogotowia ratunkowego na wzór brytyjskich zespołów HART (ang. The Hazardous Area Response Team) [3]. Zespoły HART tworzone są przez specjalnie rekrutowany i przeszkolony personel medyczny, który zapewnia pomoc medyczną dla poszkodowanych/chorych, znajdujących się w niebezpiecznym środowisku, w którym nie mogą działać tradycyjne ZRM. Co istotne, zespoły te nie mają na celu zabezpieczenia całego zdarzenia czy miejsca, w którym do niego doszło, a jedynie prowadzenie działań medycznych wśród osób poszkodowanych wraz z innymi jednostkami. Przykładowo w Wielkiej Brytanii dodatkowo wprowadzono podział zespołów HART na sekcje dedykowane specyficznym grupom zdarzeń np.: Urban Search and Resce (USAR), Tactical Medical Operations (TMO) [23–24].

Historia zespołów HART sięga 2004 roku, kiedy to the Ambulance Service Association (ASA) i tamtejszy Departament Zdrowia (Wielka Brytania) wystąpili z wnioskiem o zbadanie możliwości pracy personelu Zespołów Ratownictwa Medycznego w wewnętrznym kordonie bezpieczeństwa. W rezultacie podjęto decyzję o zbadaniu możliwości wyszkolenia i wyposażania pracowników ZRM, którzy będą w stanie bezpiecznie pracować w takich warunkach. Prace nad formowaniem jednostki przyspieszyły zamachy w Londynie z 7.07.2005 r. [3], [21–22]. Jednostki HART są strategicznie rozlokowane na terenie kraju, aby zapewnić wsparcie systemu ratownictwa medycznego zarówno na poziomie lokalnym, jak i krajowym.

medical professionals who are interested in this matter. Those professionals would then provide care in the first place till the chemical rescue group of the National Fire Services and the HART [3] arrive.

The main task of the CBRNE/HAZMAT Rescue Task Force would be to act individually, mainly in the case of biological incidents, or to support the operations of counter-terrorist units and special chemical and ecological rescue units. The scope of the CBRNE/HAZMAT Rescue Task Force's trainings would be more advanced compared to MET. Moreover, a flexible approach to human resources management allows establishing mixed task forces consisting of, e.g., a firefighter/police officer and a paramedic. In the event of a tactical threat, paramedics would provide medical treatment assisted by police officers, enabling them to act in the warm zone.

Personal Protective Equipment (PPE)

Medical professionals must be provided with appropriate equipment to carry out the above tactics/scheme of operations. PPE and respiratory protection equipment to prevent contamination are of utmost importance. A single HAZMAT suit to respond to the threats of biological, chemical and radiation incidents would be desirable. The Department of Disaster Medicine and Emergency Care at the Jagiellonian University Medical College managed to indicate the equipment of medical teams responding to current CBRNE/HAZMAT incidents. The protective clothing suggested by the Department ensures safety and enables all the necessary emergency medical treatment to be performed.

For the purposes of risk management and medical professionals' safety, the PPE preventing contamination and respiratory protective equipment have been divided into 4 types, in compliance with the 4-level PPE classification of the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [25–26].

- level A – a gas-tight protective suit with a self-contained breathing apparatus (SCBA)
- level B – a protective suit with a self-contained breathing apparatus
- level C – a protective suit and a filter mask/escape hood with a wide visor and a powered air respirator
- level D – basic protective clothing and a protective half-face mask of the P3 class

Level A protection is not permitted to be used in basic medical emergencies as the gas-tight suit does not allow performing medical procedures. Level B protection is used in the National

Rozsądne wydaje się, aby proponowane grupy były zorganizowane w stacjach pogotowia ratunkowego zlokalizowanych w ośrodkach miejskich, w których znajdują się specjalistyczne grupy ratownictwa chemiczno-ekologicznego. Miałyby wtedy możliwość reakcji wspólnie ze Strażą Pożarną oraz równocześnie stanowiły wsparcie dla oddziałów ratunkowych i centrów urazowych. W miastach o mniejszym zagrożeniu tego typu zdarzeniami optymalnym rozwiązaniem może być wyszkolenie części personelu medycznego, zainteresowanego tą problematyką. Personel ten byłby zmobilizowany i wykorzystywany w pierwszej kolejności do czasu przyjazdu jednostek ratownictwa chemicznego PSP i zespołów HART [3].

Zadaniem grup zadaniowych CBRNE/HAZMAT byłoby samodzielne działanie (głównie zagrożenia biologiczne) lub wsparcie jednostek kontrterrorystycznych i specjalistycznych jednostek ratownictwa chemiczno-ekologicznego w realizowanych przez nie zadaniach. Zakres wyszkolenia specjalistycznych grup zadaniowych CBRNE/HAZMAT byłby bardziej zaawansowany w porównaniu z przeszkoleniem rutynowo działających zespołów ratownictwa medycznego. Dodatkowo elastyczne podejście do procesu zarządzania personelem pozwalałoby na tworzenie na miejscu zdarzenia mieszanych grup zadaniowych np.: strażak/policjant i ratownik medyczny-ratownik. Przykładowo w sytuacji zagrożenia o podłożu taktycznym ratownicy medyczni udzielaliby pomocy medycznej poszkodowanym w obstawie funkcjonariuszy policji, co umożliwiłoby im już działania w strefie ciepłej.

Środki ochrony indywidualnej (ŚOI)

Aby przedstawiona powyżej taktyka działania mogła zostać zrealizowana, personel medyczny wymaga odpowiedniego wyposażenia. Decydującą rolę odgrywają w nim środki indywidualnej ochrony przed skażeniami i środki ochrony dróg oddechowych. Optymalnym rozwiązaniem dla ratownictwa medycznego jest uniwersalny ubiór ochronny zapewniający bezpieczeństwo w zdarzeniach o różnym charakterze (biologicznym, chemicznym, radiacyjnym). Badania prowadzone przez Zakład Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum pozwoliły na wypracowanie optymalnego współcześnie wyposażenia zespołów medycznych działających w zagrożeniu CBRNE/HAZMAT. Proponowany ubiór ochronny oprócz zapewnienia bezpieczeństwa, pozwala na wykonanie niezbędnych w ratowaniu życia i zdrowia medycznych czynności ratunkowych (MCR).

Punktem wyjścia w proponowanym sposobie zarządzania ryzykiem i bezpieczeństwem personelu medycznego działającego w myśl nowej taktyki jest podział indywidualnych środków ochrony przed skażeniami i środki ochrony dróg oddechowych na cztery grupy zgodnie z podziałem OSHA (Occupational Safety and Health Administration) [25–26]:

- Poziom A – kombinezon gazoszczelny z aparatem powietrznym,
- Poziom B – kombinezon ochronny z aparatem powietrznym,
- Poziom C – kombinezon ochronny z maską i filtropochłaniaczem/kapturem z wizjerem panoramicznym i urządzeniem nadmuchowo-wentylacyjnym,
- Poziom D – rutynowo stosowane ubranie ochronne i maska z filtrem P3.

Firefighting and Rescue System. Technologically advanced thin but resistant suits with protective layers, complying with all the applicable safety requirements, a respiratory protection device with a mask-integrated communication unit and a liquid collection system create new opportunities for their safe use in the field of medical emergency. Current rules and regulations limit the application of breathing apparatus within the State Emergency Medical System (PRM). Protective suits are used at both levels B and C, but only level C protection equipment can be used in medical rescue services where breathing apparatus is not included. The application of full-face masks with replaceable combined filters in the place of self-contained breathing apparatus (SCBA) expands the range/scope of emergency medical responses to CBRNE/HAZMAT incidents (see Figure 5). For better breathing comfort, suits with an integrated hood and a visor compatible with a powered air respirator have come into common use (see Figure 6 and Figure 7). Increased air supply in the hood and slightly higher pressure inside the suit give more comfort of breathing to the user and, consequently, make the user feel safer. On a daily basis, the emergency medical responders use basic protective clothing, helmets, protective gloves, gloves and half-face masks of the P3 class which do not offer enough protection against hazardous materials, mainly bio-based ones (see Figure 8). Appropriate personal protective equipment combined with new strategies, the management system and the organisational structure would facilitate meeting the objectives.

Discussion

Existing and impending challenges that the emergency medical services need to face due to the presence of a hazardous agent or its influence on the patient who has been contagious, contaminated, infected, poisoned or radiated require a different approach to be taken by the emergency medical services system towards CBRNE/HAZMAT issues. The application of a new set of strategies and policies requires a different physical and mental preparation, the factual knowledge and technical support given to the medical professionals.

Current medical solutions and the level of protection of medical professionals in the face of technological advances are not sufficient and require complex changes. The Police and Fire Services' solutions of specific task forces having been established should be transferred into the Emergency Medical Services whose specially equipped and trained rescue units would respond effectively to CBRNE/HAZMAT incidents in each and every zone, in compli-

Poziom zabezpieczenia A obecnie nie jest przewidziany do wykonywania rutynowego w ratownictwie medycznym. Współczesna konstrukcja kombinezonów gazoszczelnych nie pozwala na wykonywanie MCR. Poziom zabezpieczenia B wykorzystywany jest rutynowo w systemie KSRG. Nowoczesne pod względem technologicznym, cienkie a zarazem wytrzymałe tkaniny kombinezonów ze specjalnymi powłokami ochronnymi spełniająca odpowiednie normy bezpieczeństwa, specjalna konstrukcja masek twarzowych z wbudowanymi systemami komunikacji i pobierania płynów stwarzają nowe możliwości ich bezpiecznego wykorzystania w obszarze ratownictwa medycznego. Poważnym ograniczeniem jest konieczność korzystania z aparatów powietrznych. Współcześnie obowiązujące przepisy ograniczają możliwości wykorzystania aparatów powietrznych w obszarze systemu PRM. Poziom zabezpieczenia C pozwala na wykorzystanie w ratownictwie medycznym kombinezonów ochronnych jak w poziomie B, bez konieczności korzystania z aparatów powietrznych. Odejście od używania aparatów powietrznych na korzyść masek pełnotwarzowych z wymiennymi filtropochłaniaczami stwarza nowe możliwości reagowania ratownictwa medycznego na zagrożenia CBRNE/HAZMAT (użycie tego sprzętu przez zespół medyczny prezentuje rycina 5). W celu poprawienia warunków oddychania coraz częściej wykorzystywane są kombinezony z zintegrowanym kapturem wyposażonym w wizjer panoramiczny przystosowany do współpracy z nadmuchiwanym urządzeniem filtrowentylacyjnym (zob. ryc. 6–7).

Zwiększony dopływ przefiltrowanego powietrza do kaptura i wytworzone tym sposobem niewielkie nadciśnienie w kombinezonie zwiększa komfort oddychania i poczucie bezpieczeństwa użytkownika. W codziennej praktyce ratowniczej personel medyczny wykorzystuje rutynowo stosowane ubranie ochronne, kaski, okulary ochronne, rękawiczki i półmaski z filtrem poziomu P3, zapewniające wystarczającą w warunkach codziennej praktyki ochronę przed materiałami niebezpiecznymi, głównie pochodzenia biologicznego (zob. ryc. 8).

Dzięki wykorzystaniu odpowiedniego wyposażenia ochronnego personelu medycznego oraz wyznaczeniu celu prowadzonych działań wypracowano nową taktykę oraz system zarządzania wraz z niezbędną do jego realizacji strukturą organizacyjną.

Dyskusja

Obecne i przyszłe wyzwania dla ratownictwa medycznego związane z kontaktem ratownika z materiałem niebezpiecznym lub pacjentem będącym pod jego wpływem (skażonym, infekcyjnym, napromieniowanym, zatrutym, zakażonym) wymagają zmiany podejścia systemu ratownictwa medycznego do problematyki CBRNE/HAZMAT. Wdrożenie nowej taktyki powinno być poprzedzone odpowiednim przygotowaniem personelu medycznego pod względem mentalnym, psychicznym, fizycznym, merytorycznym, a przede wszystkim wsparciem technicznym.

Dotychczasowa taktyka medyczna i sposób zabezpieczenia personelu medycznego w dobie współczesnych osiągnięć technicznych są już niewystarczające i – w ocenie autorów – wymagają gruntownych zmian. Idąc dalej, wzorem Policji i Państwowej Straży Pożarnej, niezbędne jest utworzenie specjalistycznych jednostek ratownictwa medycznego odpowiednio wyposażonych i przygotowanych do wykonywania medycznych czynności



Figure 5. A paramedic wearing a protective suit and a full-face mask respirator

Rycina 5. Ratownik medyczny w kombinezonie ochronnym i masce pełnotwarzowej z filtrami

Source: The authors' archives.

Źródło: Archiwum własne.



Figure 6. A paramedic wearing a protective suit with a hood and a wide visor integrated with a powered air respirator

Rycina 6. Ratownik medyczny w kombinezonie ochronnym z kapturem wyposażonym w wizjer panoramiczny zintegrowany z nadmuchowym urządzeniem filtrowentylacyjnym

Source: The authors' archives.

Źródło: Archiwum własne.



Figure 7. Scott Safety Proflo 2 EX Powered Air Respirator

Rycina 7. Nadmuchowe urządzenie filtrowentylacyjne Scott Proflo 2 S.C. z podłączonymi filtrami

Source: The authors' archives. / **Źródło:** Archiwum własne.

ance with the tactics and strategies common for all the above services. Therefore, all services would improve their effectiveness or responses to such incidents. Then, the concept of a rescue system is no longer a combination of different services focused on their tasks but it forms a unitary whole which shares a common objective. Accessible and safe protection suits and respiratory protection equipment which enable performing medical interventions may influence and alter medical-rescue strategies/tactics. A division into safe and danger zones limits, or even prevents, performing medical rescue operations in the danger zone. For this reason, it is currently being replaced by a new approach which envisages flexible responses to incidents, including a risk analysis and a prognosis of benefits, limitations, capabilities, effects and costs.

The PPE of the National Emergency Medical Services system (PRM) enables providing pre-hospital and hospital medical care (in Hospital Emergency Departments), as well as in the departments of clinical toxicology, intensive care units and departments of infectious diseases. The application of PPE allows to respond to most biological, chemical and radiation events. Protective suits are simple and safe, and after having left the contaminated zone, unlike biological suits, the process of decontamination may start with the use of water and decontamination foam. Then, the suit can be taken off safely, with a minimal risk of secondary contamination. It is important to be able to take the suit off quickly and safely in situations where the paramedic's life and well-being are threatened. It also saves time to train professionals on how to use the suit properly and safely.

The management of human resources within the rescue system is competence-based which allows transfers between the units. Paramedics who are also full-time firefighters in the National Firefighting Rescue System are able to use level B protection equipment that, when combined with their medical knowledge, allows them to perform medical rescue operations in every operating area (pre-hospital, Hospital Emergency Departments, hospitals). This increases both the efficiency and performance.

The evaluation of available resources and PPE in CBRNE/HAZMAT incidents enables a flexible management of resources, i.e., transferring paramedics to respond in particular zones. For example, entering the hot zone may require level B protection; for triage to be performed at the casualty collection point (CCP), level C protection is needed; a decontamination process taking place in a special decontamination tent involves level B protection; and pre-triage at medical points requires level D protection. While identifying the level of necessary competencies at the subsequent stages, the range of skills needed at a given moment may be identified. The hot zone evacuation and vertical decontamination (involving medical support) may require certified (qualified) first aid (Polish: *Kwalifikowana Pierwsza Pomoc, KPP*)* while triage at a casualty collection point and at a medical point, or decontamination of patients with a life-threatening illness, require emergency medical procedures treatment (MCR).** (*medyczne czynności ratunkowe, MCR*).

The use of advanced solutions applied in protective suits/overalls with an integrated hood and a visor compatible with a powered air respirator enables medical professionals to provide medical treatment without the prior special and time consuming training. The suggested solutions allow for most of the necessary rescue procedures to be carried out at an early stage of patients' treatment. The suits with full-face respirator masks are

ratunkowych w zagrożeniach CBRNE/HAZMAT, praktycznie w każdej ze stref, w ramach wspólnej dla wymienionych służb taktyki działania. Przy przyjęciu takich założeń zwiększa się również skuteczność reagowania przez wszystkie służby na wyżej wymienione zagrożenia, co w szerokim kontekście pozwala myśleć o systemie ratowniczym jako całości, a nie zbiorze podsystemów, skupiających się tylko na realizacji własnych celów.

Dzięki dostępowi do bezpiecznych, ale dających możliwości wykonywania MCR kombinezonów ochronnych i środków ochrony dróg oddechowych, zmianie może ulec taktyka ratowniczo-medyczna. Tradycyjny podział na strefy bezpieczną i niebezpieczną, który ograniczał (czy wręcz uniemożliwiał) działanie ratownictwa medycznego w strefie niebezpiecznej, zastępowany jest przez nową taktykę uwzględniającą elastyczne reagowanie na zagrożenia z uwzględnieniem analizy ryzyka i spodziewanych korzyści, ograniczeń i możliwości, efektów oraz kosztów.

Wyposażenie personelu medycznego systemu PRM w proponowane środki ochrony indywidualnej pozwala na bezpieczne postępowanie z pacjentem zarówno w ratownictwie przedszpitalnym, jak i na poziomie szpitalnego oddziału ratunkowego i dalej – na poziomie oddziału toksykologii klinicznej, intensywnej terapii czy oddziału chorób zakaźnych. Uniwersalność tych środków pozwala na zastosowanie ich w większości zdarzeń pochodzenia biologicznego, chemicznego i radiacyjnego. Do ich niewątpliwych zalet należą prostota wykonania i bezpieczeństwo użycia. Wyjście ze strefy skażonej pozwala – inaczej, niż w przypadku użycia kombinezonów biologicznych – na wykonanie dekontaminacji przy wykorzystaniu wody lub środków pianotwórczych, a następnie bezpieczne zdjęcie kombinezonu, ze zminimalizowanym ryzykiem wtórnego skażenia. Powyższe cechy mają szczególne znaczenie w sytuacjach zagrożenia życia i zdrowia ratownika – wówczas możliwość sprawnego rozebrania się z kombinezonu i bezpieczny dostęp do niego mogą odegrać decydującą rolę. Pozwala to także skrócić proces szkolenia personelu w zakresie obsługi kombinezonów i ich bezpiecznego wykorzystania.

Zarządzanie zasobami ludzkimi systemu ratowniczego opartego na wykorzystaniu posiadanych kompetencji pozwala na ich transfer pomiędzy jednostkami systemu. Ratownicy medyczni będący jednocześnie etatowymi strażakami KSRG mają możliwości wykorzystania ubrań ochronnych poziomu B i wiedzy ratownika medycznego podczas wykonywania medycznych czynności ratunkowych w każdym obszarze działania (ratownictwo przedszpitalne, SOR, oddział szpitalny). Takie podejście zwiększa wykorzystanie zasobów systemu, a przez to także jego efektywność i wydolność.

Ocena dostępnych poziomów kompetencji i zabezpieczenia w ŚOI na miejscu zdarzenia CBRNE/HAZMAT pozwala na elastyczne zarządzanie zasobami i kierowanie ratowników medycznych do realizacji zadań w poszczególnych strefach. Przykładowo, wejście do strefy gorącej może wymagać poziomu zabezpieczenia B, wykonanie triage'u w punkcie zbiórki poszkodowanych – poziomu zabezpieczenia C, prowadzenie dekontaminacji w specjalnie do tego przeznaczonym namiocie – poziomu zabezpieczenia B, wstępny triage w punkcie medycznym – poziomu D. Precyzując poziom niezbędnych kompetencji na kolejnych

a practical solution for CBRNemed groups to be used in pre-hospital conditions. They provide a better head protection as ballistic helmets, along with bulletproof vests and other safety solutions, increase the overall safety of paramedics.

In HAZMAT incidents, emergency medical services should be equipped with protective clothing that display insulating capacities, unlike the filtrating protective equipment used for military or counter-terrorist purposes. Further technological developments will give rise to a new type of gas-tight suits designed for medical and medical rescue purposes that meet the specific needs of medical professionals. The United States Department of Homeland Security has released a set of predictions considering the impacts of technologies on EMS responders, to be implemented by 2030 [27]. In the future, the EMT's gear will give ballistic and puncture protection, and will be equipped with a high visible mode to be used in the dark. Sensors will monitor EMTs' health status and their location in the field. By using exosuits (powered suits), future EMTs will be able to lift and move patients easily. The above solutions will have to be applied in gas-tight suits as well.



etapach, możemy określić, jaki zakres posiadanych umiejętności jest nam w danej chwili potrzebny. Ewakuacja ze strefy gorącej może wymagać zaangażowania ratowników na poziomie kwalifikowanej pomocy medycznej (KPP), triage w punkcie zbiórki poszkodowanych – na poziomie MCR, dekontaminacja pionowa – na poziomie KPP, dekontaminacja medyczna (pozioma) u pacjentów w zagrożeniu życia – na poziomie MCR, triage w punkcie medycznym – na poziomie MCR, itd.

Wykorzystanie nowoczesnych rozwiązań w postaci kombinezonów ochronnych z zintegrowanym kapturem i wizjerem panoramicznym współpracujących z nadmuchiwanym urządzeniem filtrowentylacyjnym umożliwia podjęcie działań przez personel medyczny bez specjalistycznego i czasochłonnego szkolenia. Zaproponowane rozwiązania pozwalają na wykonanie większości niezbędnych medycznych czynności ratunkowych w procesie wstępnego leczenia pacjentów. Kombinezony z maskami pełnotwarzowymi są praktycznym rozwiązaniem dla grup o charakterze taktycznym (CBRNemed) do wykorzystania przede wszystkim w warunkach przedszpitalnych. To rozwiązanie umożliwia sprawne i wygodne poruszanie się w otwartym terenie. Dodatkowo pozwala na lepszą ochronę głowy poprzez wykorzystanie hełmów balistycznych i kamizelek kuloodpornych oraz innych rozwiązań zwiększających bezpieczeństwo ratownika medycznego.

Ze względu na charakter zagrożeń HAZMAT w ratownictwie medycznym preferowane są ubrania izolacyjne (mające zastosowanie w wojsku i jednostkach kontrterrorystycznych). Nie wątpiłby dalszy postęp techniczny pozwoli na wypracowanie nowego typu kombinezonów gazoszczelnych do zastosowania w obszarze medycyny i ratownictwa medycznego, uwzględniającego potrzeby personelu medycznego. Departament Bezpieczeństwa Wewnętrznego USA opublikował prognozowany scenariusz dotyczący wpływu innowacji technologicznych na pracę ratownictwa medycznego do 2030 roku [27]. Przewiduje on, że odzież ochronna ratowników będzie wykonana z materiałów inteligentnych z funkcją ochrony przed bronią palną i biłą. Kombinezon będzie posiadał tryb wysokiej widoczności w warunkach działań nocnych lub w zaciemnionych miejscach. Osobiste czujniki bio-medyczne będą monitorować stan ratownika (przypominając chociażby o potrzebie przyjęcia płynów) oraz jednocześnie będą pokazywały aktualną lokalizację ratownika w akcji. Ponadto przy pomocy egzoskieletów ratownicy mogliby podnosić/przenosić pacjentów z mniejszym wysiłkiem. Podobne rozwiązania będą musiały być wprowadzone także do nowych kombinezonów gazoszczelnych.

Figure 8. A paramedic wearing level D protective clothing

Rycina 8. Ratownik medyczny w ubraniu ochronnym poziomu zabezpieczenia D

Source: The authors' archives.

Źródło: Archiwum własne.

Conclusions

Advances in personal protective equipment to prevent contamination and respiratory protective equipment adapted for medical emergencies have encouraged changes in the tactics of the State Emergency Medical System (PRM) as they let emergency teams to operate in previously inaccessible areas. Simple, safe and tested solutions allow medical professionals to cooperate safely with counter-terrorism units and the Fire Services. Emergency teams will be able to provide care at early stages of CBRNE/HAZMAT incidents, which may save many lives.

Wnioski

Rozwój środków indywidualnych ochrony przed skażeniami i środków ochrony dróg oddechowych przystosowanych do wykorzystania przez personel medyczny umożliwiają obecnie zmianę taktyki działania systemu PRM. Dzięki niemu możliwe jest zaangażowanie zespołów medycznych w obszarach dotychczas dla nich niedostępnych. Proste, bezpieczne i sprawdzone rozwiązania pozwalają na zabezpieczenie personelu medycznego na poziomie wystarczającym do podjęcia współdziałania z operatorami policji jednostek kontrterrorystycznych i ratownikami KSRG w ramach wspólnej taktyki działania. Szanse na uratowanie ofiar incydentów CBRNE/HAZMAT rosną dzięki możliwości zaangażowania medyków we wcześniejszych fazach działań ratowniczych.

List of abbreviations / Wykaz skrótów

CBRNE	chemical, biological, radiological, nuclear, and explosives incident	KSRG	(Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy) – The National Firefighting and Rescue System
CRESZ	(Centrum Reagowania Epidemiologicznego Sił Zbrojnych RP) – Epidemiological Response Centre of the Polish Armed Forces	MCR	(medyczne czynności ratunkowe) – emergency medical procedures – a range of advanced medical procedures for self-implementation by a paramedic of the PRM system in Poland / zakres czynności medycznych możliwych do samodzielnego wykonania przez ratownika medycznego systemu PRM w Polsce
FRS	Fire and Rescue Services	OSHA	Occupational Safety and Health Administration
HART	Hazardous Area Response Team	PRM	(Państwowe Ratownictwo Medyczne) – The State Emergency Medical System
HAZMAT	hazardous materials incident	RTF	Rescue Task Force
KPP	(kwalifikowana pierwsza pomoc) qualified first aid – a range of first aid procedures that can be performed by a fireman rescuer (KSRG), based on standardized rescue equipment (PSP-R1) / zakres procedur z obszaru pierwszej pomocy możliwy do wykonania przez ratownika-strażaka systemu KSRG w oparciu o wystandaryzowany sprzęt ratunkowy (Zestaw PSP-R1)	SCBA	self-contained breathing apparatus
		ZDR	(zakład dużego ryzyka) high-hazard worksite

Literature / Literatura

- [1] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. 1991 Nr 81, poz. 351).
- [2] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 lipca 2017 r. w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz.U. 2017 poz. 1319).
- [3] Trzos A., *Ratownictwo Medyczne wobec współczesnych zagrożeń*, Elamed Media Group, Katowice 2019.
- [4] Harmata W., Witczak M., *Rozpoznanie skażeń w Polsce – aktualny stan wiedzy*, BiTP 2018, 52(4), 20–45, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.2>.
- [5] Kopczewski R., Nowacki G., Zakrzewski B., *Zagrożenia chemiczne i ekologiczne podczas przewozu drogowego towarów niebezpiecznych*, „Bezpieczeństwo i ekologia” 2017, 9.
- [6] Arnold J. L., *Disaster medicine in the 21st century: future hazards, vulnerabilities, and risk*, “Prehospital and Disaster Medicine” 2002, 17(1), 3–11, <https://doi.org/10.1017/S1049023X00000042>.
- [7] Raport o stanie bezpieczeństwa w Polsce w 2016 roku, MSWiA, 300, <https://bip.mswia.gov.pl/bip/>, [dostęp: 30.06.2019].
- [8] Mortelmans L.J.M., Gaakeer M.I., Dieltiens G., Anseeuw K., Sabbe M.B., *Are Dutch Hospitals Prepared for Chemical, Biological, or Radionuclear Incidents? A Survey Study*, “Prehospital and Disaster Medicine” 2017, 32(5), 483–491, <https://doi.org/10.1017/S1049023X17006513>.
- [9] Jama T.J., Kuisma M.J., *Preparedness of Finnish Emergency Medical Services for Chemical Emergencies*, “Prehospital

- and Disaster Medicine" 2016, 31(4), 392–396, <https://doi.org/10.1017/S1049023X16000546>.
- [10] Olivieri C., Ingrassia P.L., Della Corte F., Careno L., Sapori J.M., Gabilly L., Segond F., Grieger F., Arnod-Prin P., Larrucea X., Violi C., Lopez C., Djalali A., *Hospital preparedness and response in CBRN emergencies: TIER assessment tool*, "European Journal of Emergency Medicine" 2017, 24(5), 366–370, <https://doi.org/10.1097/MEJ.0000000000000399>.
- [11] Razak S., Hignett S., Barnes J., *Emergency Department Response to Chemical, Biological, Radiological, Nuclear, and Explosive Events: A Systematic Review*, "Prehospital and Disaster Medicine" 2018, 33(5), 543–549, <https://doi.org/10.1017/S1049023X18000900>.
- [12] Levitin H. W., Siegelson H. J., *Hazardous Materials Emergencies, w: Disaster Medicine*, wyd. 2, D. E. Hogan, J.L. Burstein (red.), Wolters Kluwer, Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 2007, 311–325.
- [13] Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine <https://www.iaea.org/sites/default/files/chernobyl.pdf> [dostęp: 30.06.2019].
- [14] Awaria w TMI <http://atom.edu.pl/index.php/bezpieczenstwo/inne-wypadki/three-mile-island-1979.html> [dostęp: 1.07.2019].
- [15] The Fukushima Daiichi Accident <https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1710-ReportByTheDG-Web.pdf> [dostęp: 1.07.2019].
- [16] Byers M., Russel M., Lockey D.J., *Clinical care in the „Hot Zone”*, "Emergency Medicine Journal" 2008, 25, 108–112, <https://doi.org/10.1136/emj.2006.037689>.
- [17] Kumar V., Goel R., Chawla R., Silambarasan M., Sharma R.K., *Chemical, biological, radiological, and nuclear decontamination: Recent trends and future perspective*, "Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences" 2010, 2, 220–238, <https://doi.org/10.4103/0975-7406.68505>.
- [18] Hood E., *The Tokyo Attacks in Retrospect Sarin Leads to Memory Loss*, "Environmental Health Perspectives" 2001, 109(11), A542, <https://doi.org/10.1289/ehp.109-a542a>.
- [19] Nowiczok. *Jak Rosjanie opracowali najbardziej śmiertelne trucizny na świecie?* <https://www.newsweek.pl/wiedza/nauka/nowiczok-siergiej-skrupal-otruty-rosyjska-truczina/3xq6stv>, źródło: PAP [dostęp: 29.06.2019].
- [20] Arnold J.L., Dembry L., Tsai M.C. i wsp.: *Recommended modifications and applications of the Hospital emergency Incident Command System for Hospital emergency management*, "Prehospital and Disaster Medicine" 2005, 20(5), 290–300, <https://doi.org/10.1017/S1049023X00002740>.
- [21] Levitin H.W., Siegelson H.J., *Hazardous Materials Emergencies*, w: Disaster Medicine. Second Edition, D.E. Hogan, J.L. Burstein (red.), Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins, 2007, 311–325.
- [22] Melnikova N., Wu J., Orr M., *Acute Chemical Incidents With Injured First Responders*, "Disaster Medicine and Public Health Preparedness" 2018, 12(2), 211–221, <https://doi.org/10.1017/dmp.2017.50>.
- [23] [www.nwas.nhs.uk/our-services/managing-major-incidents/hazardous-area-response-team-\(hart\)/#](http://www.nwas.nhs.uk/our-services/managing-major-incidents/hazardous-area-response-team-(hart)/#). Wg2DT4_WzIU [dostęp: 29.06.2019].
- [24] www.ambulancehart.org.uk [dostęp: 29.06.2019].
- [25] https://www.osha.gov/dts/osta/otm/otm_viii/otm_viii_1.html [dostęp: 2.07.2019].
- [26] Trzos A., Łyziński K., Długosz K., *Indywidualne środki ochrony dla ratownictwa medycznego*, „Na Ratunek" 2018, vol. 4, 22–28.
- [27] Future of First Response – Vision for Emergency Medical Services <https://www.youtube.com/watch?v=VHuzjyvsScI> [dostęp: 2.07.2019].

ARKADIUSZ TRZOS, PH.D. – acting Head of the Department of Disaster Medicine and Emergency Care at the Jagiellonian University Medical College. He specialises in disaster medicine, rescue medicine and extreme medicine. co-author and scientific editor of the book entitled *Ratownictwo medyczne wobec współczesnych zagrożeń (Emergency Medical Services and Contemporary Threats)*.

KAROL ŁYZIŃSKI, M.SC. – medical rescue worker at the Kraków Emergency Medical Services; Assistant at the Department of Disaster Medicine and Emergency Care, the Jagiellonian University Medical College; Ph.D. student at the Faculty of Health Sciences, the Jagiellonian University Medical College.

KAMIL JUROWSKI, PH.D. – specialises in toxicology, mass spectrometry, chromatography, lipid biochemistry, clinical biochemistry, analytical biochemistry.

DR ARKADIUSZ TRZOS – p.o. Kierownik Zakładu Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum. Specjalizuje się w: medycynie katastrof, medycynie ratunkowej, medycynie ekstremalnej. Współautor i redaktor naukowy publikacji pt. *Ratownictwo medyczne wobec współczesnych zagrożeń*.

MGR KAROL ŁYZIŃSKI – ratownik medyczny w Krakowskim Pogotowiu Ratunkowym, asystent w Zakładzie Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum, doktorant na Wydziale Nauk o Zdrowiu Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum.

DR KAMIL JUROWSKI – specjalności: toksykologia, spektrometria mas, chromatografia, biochemia lipidów, biochemia kliniczna, biochemia analityczna.

Tomasz Zwęgliński^{a)*}, Andrii Maksimenko^{b)}, Marcin Smolarkiewicz^{a)}

^{a)} The Main School of Fire Service / Szkoła Główna Służby Pożarniczej

^{b)} State Scientific and Research Institute 'Chornobyl Center for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology'

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

Exercising in a Radioactive Environment – a Case Study from CBRNE Exercise in Chernobyl Exclusion Zone

Ćwiczenia w środowisku skażonym radioaktywnie – studium przypadku ćwiczeń CBRNE w Czarnobylu w strefie wyłączonej

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to present the results of an experiment which was conducted as a part of the "End-user driven DEmo for cbrNe" (EDEN) project on the 17th and 18th of May 2016 in the Chernobyl Exclusion Zone, and more precisely in Pripjat.

Introduction: One of the main requirements for highly effective emergency exercise is a well prepared and reliable scenario which is executed in conditions that closely resemble reality. This requirement brings even more value if the exercise is tailored to build response capacity for CBRNE hazards. First responders' skills and work experience in contaminated areas are desirable response capacity of emergency units. However, because CBRNE emergencies are low-probability, high-impact events, they are very rarely happening. Therefore, building this response capacity definitely requires exercising, at least in a simulated environment. Simulating CBRNE hazards, and especially biological and radiological ones, is very challenging, expensive, time-consuming, strictly regulated and in many cases, like for nuclear, almost impossible. However, there is one more option, apart from simulating the contamination. It is exercising in contaminated areas like e.g. in the Chernobyl Exclusion Zone. To organise this type of exercise requires from the exercise planners and organizers a deep understanding of the hazard as such. Since the hazard constitutes a realistic risk of negative impact on the exercise participants' health, such events have to be planned and prepared in detail, and with an appropriate consideration given to the risk level in order to minimize it.

An increased level of first responders' readiness built upon such exercises is definitely an operational value. However, it is questioned how high could be the cost of this benefit on the participants health, if any? What are the key aspects to be considered while organising an emergency exercise in a radioactively contaminated training site in order to minimize health and other risks? What type of training and operational benefits could be identified when working in such an environment?

Methodology: The paper analyses the CBRNE exercise executed in Pripjat presenting a lesson learnt which could easily be utilised by the future planners and organisers of such type of exercises.

Conclusions: The experiment proved that providing a safety plan for such an exercise and its proper implementation allows the exercise to be executed in a manner which ensures that the safety levels regulated by law are not exceeded. Exercising in contaminated zones provides an excellent opportunity for the improvement of individual skills and coping capacity of the entire CBRNE system, including standard operating procedures. It is important to note that during well organized and controlled exercises, the risk for health and life of the first responders due to radioactive contamination and exposure is negligible.

Keywords: ionising radiation, effective dose, CBRNE, civil protection exercises

Type of article: case study

Received: 20.11.2019; Reviewed: 08.12.2019; Accepted: 17.12.2019;

Authors' ORCID IDs: T. Zwęgliński – 0000-0003-2652-8068; A. Maksimienko – 0000-0001-5380-2312; M. Smolarkiewicz – 0000-0002-5681-2548;

Percentage contributon: T. Zwęgliński – 40%; A. Maksimienko – 30%; M. Smolarkiewicz – 30%;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 160–166, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.12>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie wyników eksperymentu przeprowadzonego w dniach 17 i 18 maja 2016 r. w ramach projektu „End-user driven DEmo for cbrNe” (EDEN) w Czarnobylskiej Strefie Wykluczenia, w Prypeci.

Wprowadzenie: Warunkiem skutecznych ćwiczeń ratowniczych jest dobrze przygotowany i niezawodny scenariusz, realizowany w warunkach bardzo zbliżonych do rzeczywistych. Przeprowadzone w ten sposób ćwiczenia mają jeszcze większą wartość, jeśli uwzględniają budowanie zdolności do reagowania na zagrożenia CBRNE. Umiejętności i doświadczenie służb ratowniczych w działaniach na obszarach skażonych mają istotne znaczenie z punktu widzenia zdolności ratowników do reagowania. Ponieważ jednak awarie CBRNE są zdarzeniami o niskim prawdopodobieństwie i dużym wpływie, zdarzają się bardzo rzadko. W związku z tym budowanie zdolności do reagowania na tego typu incydenty bez wątplenia wymaga ćwiczeń, przynajmniej w symulo-

wanym środowisku. Symulowanie zagrożeń CBRNE, szczególnie tych biologicznych i radiologicznych, jest nie tylko bardzo trudne, drogie, czasochłonne i ściśle regulowane, ale w wielu przypadkach – np. zagrożeń nuklearnych – prawie niemożliwe. Poza symulowaniem skażeń istnieje jednak jeszcze jedno rozwiązanie. Jest nim prowadzenie ćwiczeń na skażonych obszarach, takich jak np. Czarnobylska Strefa Wykluczenia. Zorganizowanie tego rodzaju ćwiczeń wymaga głębokiego zrozumienia samego zagrożenia, stanowi ono bowiem realne ryzyko dla zdrowia uczestników szkolenia. Tego rodzaju ćwiczenia powinny być zaplanowane i szczegółowo przygotowane. Należy uwzględnić poziom ryzyka, aby można było je odpowiednio zminimalizować. Zwiększenie poziomu gotowości ratowników stanowi istotną korzyść operacyjną. Jakie są zatem zagrożenia zdrowotne dla ćwiczących ratowników, jeśli w ogóle one występują? Jakie są kluczowe aspekty organizacyjne, które należy wziąć pod uwagę podczas tego rodzaju ćwiczeń celem zminimalizowania ryzyka (w tym zdrowotnego)? Jakiego rodzaju korzyści o charakterze szkoleniowym i operacyjnym można zidentyfikować podczas takich ćwiczeń?

Metodologia: W artykule przeanalizowano ćwiczenia CBRNE przeprowadzone w Prypoci. Przedstawiono wnioski, które mogą być wykorzystywane przez przyszłych pomysłodawców i organizatorów tego rodzaju ćwiczeń.

Wnioski: Eksperyment wykazał, że opracowanie planu bezpieczeństwa dla takiego ćwiczenia i jego właściwe wdrożenie pozwalają na realizację przedsięwzięcia z zachowaniem poziomu bezpieczeństwa uregulowanego przepisami prawa. Ćwiczenie w strefach skażonych stanowi doskonałą okazję do doskonalenia indywidualnych umiejętności i zdolności radzenia sobie w zdarzeniach CBRNE, w tym w zakresie standardowych procedur operacyjnych. Należy podkreślić, że podczas dobrze zorganizowanych i kontrolowanych ćwiczeń ryzyko dla zdrowia i życia uczestników z powodu skażenia i narażenia na promieniowanie jest znikome.

Słowa kluczowe: promieniowanie jonizujące, skuteczna dawka, CBRNE, ćwiczenia z zakresu ochrony ludności

Typ artykułu: studium przypadku

Przyjęty: 20.11.2019; **Zrecenzowany:** 08.12.2019; **Zatwierdzony:** 17.12.2019;

Identyfikatorzy ORCID autorów: T. Zwęgliński – 0000-0003-2652-8068; A. Maksimienko – 0000-0001-5380-2312; M. Smolarkiewicz – 0000-0002-5681-2548; Procentowy wkład merytoryczny: T. Zwęgliński – 40%; A. Maksimienko – 30%; M. Smolarkiewicz – 30%;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 160–166, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.12>;

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

Introduction

Intentional or unintentional use of hazardous materials, like chemical, biological, radiological, or nuclear materials, or explosives (CBRNE), for the purposes of criminal, terrorist or military acts, is an increasing risk for society. This fact is confirmed by a number of international and national legal regulations, normative acts and strategic documents [1–3]. Moreover, such incidents often tend to be multi-hazard risks including different type of agents and/or techniques used by the perpetrators at the same time or one after another. Since each state is responsible for providing security for people staying on its territory [4], the increasing risk of CBRNE threats requires high level of engagement from politicians, crisis managers and first responders to develop the coping capacity for this kind of incidents. Coping capacity is understood as "the ability of people, organizations and systems to manage adverse conditions, risk or emergencies using any available skills and resources" [5]. It requires continuing awareness, resources, good management and inter-agency cooperation [6], both in normal times as well as during emergencies or adverse conditions. Coping capacity should obviously contribute to a reduction in CBRNE risks.

Building resilience always starts with understanding a hazard and a risk which the hazard could generate when materialised. Therefore, it is highly relevant to present the findings produced during the authors' radiological hazard exercise. The nuclear threat is continuously being surveyed to provide a broader and deeper understanding of its impact on human beings and the environment. Fukushima and Chernobyl incidents [7] are the two most recognisable cases which are still being researched to help understand this impact in the best possible way.

Developing coping capacity includes first responder training and exercising of a given risk response. It has been well proven that for an exercise to be highly effective it needs to be run according to a scenario which is as close to real conditions as possible [8–9].

In the case of CBRNE, this raises a lot of doubts. In most cases it literally means exercising in an actually contaminated area. Having said that, it is worth underlining that for chemical and biological agents it is possible to effectively protect first responders with appropriate personal protective equipment (PPE). However, for a radiological hazard, such as neutron and gamma radiation, it is hardly possible to protect them fully, even using PPE. This raises the question of what type of measures should be undertaken in preparation and execution of an exercise being conducted in radiologically contaminated zones in order to minimize the risk of potential negative health effects, while at the same time increasing the first responders' operational readiness for CBRNE incidents.

Methodology

The experiment was conducted as a part of the "End-user driven DEmo for cbrNe (EDEN)" project, carried out under the European 7th Framework Programme, (EC Grant Agreement 313077). It was conducted on 17th and 18th May 2016 in the Chernobyl Exclusion Zone, in the town of Pripjat. A total of 56 participants from 11 European countries took part in a two-day long emergency exercise. Considering the nature of contamination in the exercise area, radiation protection activities focused on the protection of the participants against the following risks:

- gamma and beta external exposure;
- internal exposure via inhalation and oral paths due to possible formation of dust and airborne particles in breathing zone during the decontamination activities and use of quadcopters, robotic equipment, etc.;
- radioactive contamination of skin surface;
- radioactive contamination of personal belongings and equipment.

There were also some activities preventing the aggravation of radiation conditions within the exercise area and transfer of radioactive contamination outside the site.

To minimize the risk of alpha radiation (internal exposure), and radioactive contamination of skin surface and personal belongings and equipment, the participants had been recommended to use protective clothing. It was a set composed of a jumpsuit with a hood, overshoes (personal protective clothes – type 5, confirmed by the European standards EN 13982, EN 1073-2, EN 11495), nitrile gloves (thickness = 0.12 mm), plastic glasses and, as a minimum, a half mask with respirator FFP1 protection class (filtration efficiency 80%, confirmed by the European standard EN 149) with a respirator (Figure 1). In order to increase the participants' safety level above the minimum standard described in the previous sentence, ultimately during the exercise the participants used a half mask with respirator RP A-200 П-3К - FFP-3D protection class (filtration efficiency 99%, EN 149), instead of FFP1. Moreover, for safety and measurement purposes, they were equipped with individual thermoluminescent dosimeters – TLD and electronic dosimeter – ED (Polimaster PM 1610, confirmed by the European standards EN 61326-1:2013, EN 61326-2-2:2013, EN 61000-6-2:2005, EN 61000-6-3:2007+A1:2011, EN 55022:2010), calibrated annually, measuring gamma effective doses to which the participants were exposed. The total time period of the exercise, which means the participants' presence in the contaminated area, was 16 hrs 58 min. Since all of the participants were appropriately protected from the internal irradiation (inhalation), the irradiation effective dose was calculated only from the external gamma radiation. The individual effective gamma doses for each exercise participant, for two days exposure, were measured. The total effective gamma doses for each participant were compared with effective dose rates set in legal regulations.



Figure 1. Recommended minimal PPE for the participants and staff of the Pripjat exercise held in May 17–18, 2016 in the Chernobyl Exclusion Zone
Source: Own elaboration based on Hotzone Solutions, Safety requirements for the work in the Chernobyl exclusion Zone on a large scale exercise, HZS, 2016, [10].

The main sources of contamination nowadays in the Chernobyl Exclusion Zone are ⁹⁰Sr and ¹³⁷Cs. ⁹⁰Sr contamination generally correlates with ¹³⁷Cs. The most serious contamination is associated with the northern trace and western sub-latitudinal trace (its narrowest “explosive” zone). Maximal surface contamination within 2–5 km around the Chernobyl Nuclear Power Plant reaches 18 to 40 MBq/m², decreasing to 400–1100 kBq/m² as the distance grows to 30 km. Near Chernobyl the contamination is 200 kBq/m², and over the peripheral part of the 30-km zone it is 40–200 kBq/m², reaching 100–200 kBq/m² along its northern border (Figure 2).

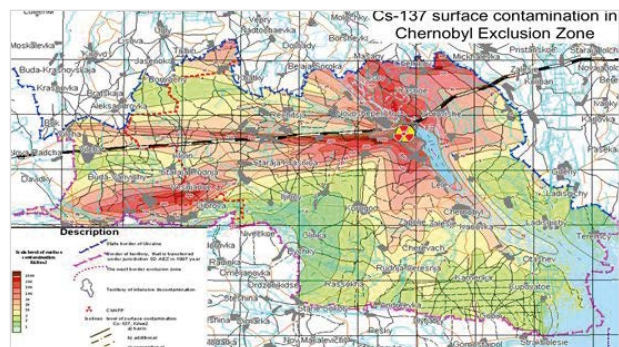


Figure 2. Contamination of the Chernobyl Exclusion Zone by ¹³⁷Cs
Source: S. P. Gashchak, M. D. Bondarkov, Y. I. Ivanov, A. M. Maksymenko, V.I. Martynenko, A. N. Arkhipov, Radioecology of urban landscape through the example of the town of Pripjat. Problems of the Chernobyl exclusion zone, IAEA 2009, [11].

Previous aero-gamma survey of Pripjat showed contamination level with ¹³⁷Cs from 10 to 300 Ci/km² (370,0 GBq/km² – 11,1 TBq/km²) (Figure 3).

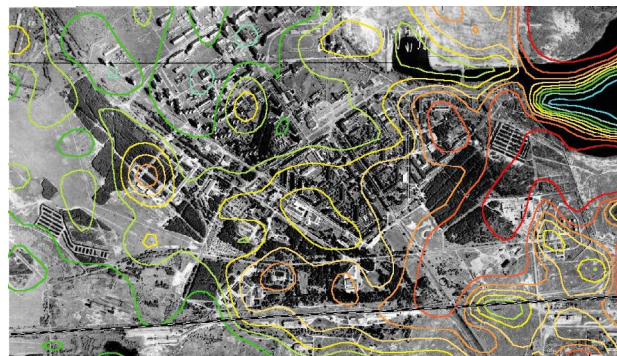


Figure 3. Density of the Pripjat area contamination with ¹³⁷Cs, as per the results of aero-gamma survey of 1992 (colour scale from light blue [10 Ci/km² = 370,0 GBq/km²] to red [300 Ci/km² = 11,1 TBq/km²]).
Source: State Scientific and Research Institution ‘Chornobyl Centre for nuclear safety, radioactive waste and radioecology’, Report on the provision of services under contract No. 0209/2015, Ukraine, 2015, [12].

The exercise area was located in the south-east part of Pripjat, as presented in Figure 4 (red line – administrative border of the town, blue line – exercise site).

There are seven areas with high levels of gamma radiation – red spots – and three areas with low levels of gamma radiation – green rectangles located within the exercise site (Figure 5).



Figure 4. Exercise area marked in a satellite picture of Pripjat

Source: Own elaboration based on State Scientific and Research Institution 'Chornobyl Centre for nuclear safety, radioactive waste and radioecology', Report on the provision of services under contract No. 0209/2015, Ukraine, 2015, [12].

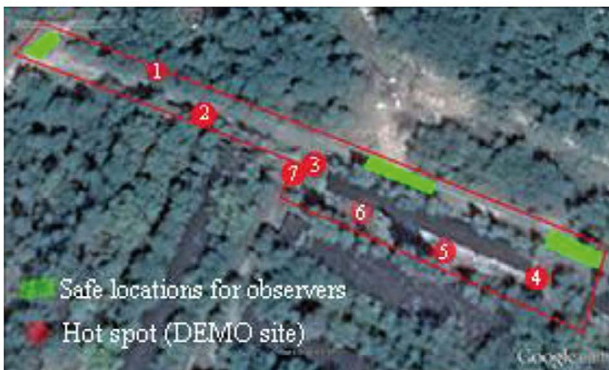


Figure 5. Location of the gamma 'hot spots' within the Pripjat exercise area.

Source: State Scientific and Research Institution 'Chornobyl Centre for nuclear safety, radioactive waste and radioecology', Report on the provision of services under contract No. 0209/2015, Ukraine, 2015. No. 0209/2015, Ukraine, 2015, [12].

The seven hot-spots had been measured before the exercise during the preparatory phase and the results were as follows: 1) 27.7; 2) 19.3; 3) 25.6; 4) 47.0; 5) 11.2; 6) 11.2; 7) 20.2 $\mu\text{Sv} \cdot \text{h}^{-1}$.

Furthermore, six months prior to the exercise, a detailed measurement was conducted in order to map the dose rate coverage within the entire exercise site (Figure 6).



Figure 6. Dose rates (micSv/hr) measured in the Pripjat exercise area in 2016.

Source: State Scientific and Research Institution 'Chornobyl Centre for nuclear safety, radioactive waste and radioecology', Report on the provision of services under contract No. 0209/2015, Ukraine, 2015, [12].

The measurements of individual effective gamma doses were conducted while the participants were working within the Pripjat exercise site (Figure 7).



Figure 7. Measurements and testing of new solutions in the Pripjat area – an exercise conducted as part of the EDEN Project

Source: Own elaboration based on Project "End-user driven DEMo for cbrNe (EDEN)", Report: D65.8 – Evaluation Report of the RN Demonstration, European Commission, 2016, [13].

Results and discussion

The authors measured the individual effective gamma doses to which each participant of the exercise was exposed. This was done during the first day of the exercise (E_1) with an error $\delta E_1 = 0.001 \text{ mSv}$, and during the second day of the exercise (E_2) with an error $\delta E_2 = 0.01 \text{ mSv}$. The total effective gamma dose for the two days was calculated ($ET \pm \delta ET$), with $0.041 \pm 0.011 \text{ mSv}$ as the lowest result, and $0.094 \pm 0.011 \text{ mSv}$ as the highest result.

Taking into account international and Polish [14] regulations, the doses admitted by the participants of the exercise were far lower than the limits allowed by the legal regulations. According to Polish regulations, which are based on international acts, a yearly dose limit for a member of the public is 1 mSv. Therefore, it is reasonable to conclude that the average effective dose to which the group of the exercise participants was exposed constituted only 6.3% of the yearly accepted dose for such a person. If we consider that the Polish limit for a person having contact with radiation during regular work is 20 mSv (50 mSv in USA regulations), the average amount absorbed during the exercise constitutes only 0.315% for Polish regulations (0.126% for USA). Comparing the average absorbed dose with other limits regulated by law, it is worth mentioning that for workers or rescuers acting in a radioactive environment in the event of a life rescue operation the effective dose limit is 500 mSv. Therefore, the average dose absorbed during the exercise was only 0.013% of that limit.

Standard deviation for the doses measured during the two days is 0.011, while median is the same as the average dose (0.063). This means that the number of the measurements above and below 0.063 is the same, so there are no measurements which significantly differ from the others. It proves good supervision of the participants by the exercise staff and following of the instructions given to the participants in order to avoid any not reasonably acceptable irradiation e.g. by going out of the exercise site. The Pearson correlation factor shows that the measurements from the 1st day are slightly positively correlated with the measurements taken on the 2nd day. This could lead to a conclusion that the behaviour of the individuals was in line with the appropriate level of the safety instructions during both days of the exercise.

It is quite clear that the doses absorbed by the exercise participants during these several hours are fully acceptable exposures from the legal point of view. It should be underlined that the movement of the participants was mainly along asphalt routes, very rarely through bushes or other potentially more contaminated areas. Since the hot spots, as described above, were clearly marked, the participants were careful not to come too close or for too long to those locations in order to complete the exercise tasks.

There is a number of recommendations formulated on the base of the experiment. All of them could facilitate the work of specialists organising exercises in contaminated zones. They are as follows:

1. Due to the contaminated zone and safety measures consider a limited number of participants to have appropriate control over their movement.
2. Make prior preventing measures which are specific for contaminated zones, such as: creating a current map of contamination within the exercise site, appointing and marking main routes for safe movement (the best would be asphalt routes), sprinkling the routes with water to limit contamination, covering with plastic film the areas in which the organizational staff foresee a longer stay of people not directly involved in the exercise e.g. observers, etc.
3. In order to keep the exposure of its participants as low as reasonably acceptable (ALARA), limit the time of the exercise to a practical minimum enabling completion of the exercise objectives.
4. Recommend each participant to undergo a medical examination prior to the exercise to confirm that he/she does not have medical contraindications for working with ionising sources, wearing respiratory protective equipment, etc. [15].
5. Any real emergency during the exercise requires the injured personnel to be checked for contamination followed by decontamination measures, if needed.
6. Control the individual dose of the participants' external exposure, as necessary to carry out both routine monitoring using thermoluminescent dosimeters (TLD) and task related monitoring using electronic dosimeters (ED) [16].
7. An opportunity for simulating causalities or fatalities during the exercise is limited only to safe locations with reasonable levels of contamination, in order to avoid any unacceptable health risks; an alternative option could be using mannequins.
8. Receive all the formal permissions to run the exercise from the authority legally administrating the site; this is especially important due to the uncertainty related to the political situation in Ukraine.
9. Consider the limited access to GSM network; e.g. in Chernobyl, the area has been abandoned for more than 30 years, so new technologies or systems are generally not available there. For exercise purposes, this could be solved by installing satellite Internet (this was done in the case of the analysed exercise) – the usefulness of the satellite-based information systems for crisis management is broadly recognised and was already discussed e.g. by [17].
10. Check any used equipment and clothing for contamination in order to avoid spreading contamination outside the contaminated zone. In the case of the Chernobyl Exclusion Zone, it is required to check the staff on some checkpoints, and if the equipment cannot be decontaminated, it will have to be left in the zone. This rises the risk of leaving expensive equipment in the zone after the exercise (after the analysed exercise, some pieces of equipment – wheels of an unmanned ground vehicle (UGV) – had to be left in the exercise site). If not appropriately checked, the equipment could be stopped also on the border of the country after it is checked for radiation by border guards.
11. Impossible to use tents for accommodation overnight in the event of a long exercise due to a not reasonably acceptable risk of exposure.
12. Keep specific precautions concerning the behaviour in the exclusion zone e.g. no eating, no smoking, etc.
13. Eat only in safe places like e.g. canteens – this causes logistical and time management problems during the exercise.

All these arrangements require professional management and heavy workload during all phases of the exercise, and especially in the preparatory phase. So, what type of operational benefits were identified for exercising in contaminated sites? These are listed below:

1. Checking standard operating procedures such as radiological hazard detection and source identification is a key aspect in any CBRNE response. Testing them in real conditions is obviously more valuable and reliable than in a simulated environment;
2. Checking detectors and other measurement devices in real conditions is a unique opportunity due to the fact that it is very difficult to simulate or create radiation higher than the background radiation in non-contaminated areas e.g. because of legal restrictions.
3. Checking procedures for putting on and taking off personal protective equipment (PPE) in conditions which enable testing contamination level on and under the PPE. It could help identify any faulty elements of the procedures or mistakes made by practitioners.

4. Checking person and equipment decontamination measures with ad hoc verification of their effectiveness e.g. by measurements done after decontamination.
5. Checking electronic devices being part of the equipment and their functioning parameters in the radioactive environment.
6. Contamination is a part of the exercise site, therefore simulation of this is not needed any more, and the site is as realistic as it can be.
7. Working in contaminated zones brings additional psychological pressure on first responders, and operational and tactical decision makers, which allows testing and improving their skills related to working under mental pressure of a real incident.
8. Working in a contaminated site helps understand radioactive contamination characteristics, including very variable distribution of the radioactive sources in the area, small distances can make a big difference in contamination, different types of ground coverage (bushes, roads, buildings, etc.) generate different levels of radiation, etc.
9. Due to the fact that there are not too many radioactively contaminated areas in the world, generally such exercises require working in an international environment, with foreign practitioners and experts. This brings added value in the sense of networking that could be highly useful in real emergencies and if there is ever a need for international assistance.

Conclusions

Organization of a CBRNE exercise is a complex and complicated challenge. Things start to be even more challenging when we realize the exercise is to be conducted in a contaminated area. But such exercises can be far more beneficial from the training perspective.

The two-day long experiment in Pripjat proved that providing a safety plan for such an exercise and its proper implementation, including the use of appropriate PPE and compliance with strict safety rules, guarantees acceptable safety level of everyone involved. This approach generates a win-win situation. First responders can benefit from a realistic environment for exercising purposes with taking a reasonably acceptable risk of exposure to ionising radiation. Exercising in contaminated areas provides an excellent opportunity to improve individual skills of first responders and coping capacity of entire CBRNE systems e.g. by testing and reinforcing standard operating procedures. Finally, it is important to highlight that with a well organised and controlled exercise, the risk from radioactive contamination and exposure for the health and life of the first responders and other involved persons could be negligibly small.

This Project "End-user driven DEMO for cbrNe" (EDEN) was funded by the European Union Seventh Framework Programme under Grant Agreement No. 313077 and co-funded by the Polish Ministry of Science and Higher Education, Decision No. 2962/7.PR/13/2014/2.

References

- [1] UN Security Council Resolution S/RES/1540, UN Office for Disarmament Affairs, 2004.
- [2] European Commission, EU CBRN Action Plan to enhance preparedness against chemical, biological, radiological and nuclear security risks, EU Commission, Brussels, 2017.
- [3] Polish Government Centre for Security (RCB), Polish National Crises Management Plan, Part A, RCB.
- [4] Zwęgliński T., *Analiza polityczno-administracyjnych procesów decyzyjnych Unii Europejskiej w przypadku wystąpienia międzysektorowych i transgranicznych sytuacji kryzysowych*, in: *Koncepcje i instrumenty zarządzania w administracji publicznej*, [ed.] Gołębiowska A., Warsaw, Publishing House CIP – Polish National Library, Chancellery of the Polish Senate, 2017, 37.
- [5] UN Office for Disaster Risk Reduction, Report of the Open-ended intergovernmental expert working group on indicators and terminology relating to disaster risk reduction, UN DRR, 2016.
- [6] Zwęgliński T., Morgado C., *Analytical approach to cooperation of the State Fire Service with the Police in Poland in the context of brief comparison with Portuguese reality*, "Internal Security" 2018, 10(2), 161.
- [7] Imanaka T., Hayashi G., Endo S., *Comparison of the accident process, radioactivity release and ground contamination between Chernobyl and Fukushima-1*, "Journal of Radiation Research" 2015 56(1), 56–61, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrv074>.
- [8] Handbook Evaluation of Exercises, MSB244, Mars: Swedish Civil Contingencies Agency, 2011, 36.
- [9] Beerens R. J. J. and Tehler H., *Scoping the field of disaster exercise evaluation – A literature overview and Analysis*, "International Journal of Disaster Risk Reduction" 2016, 19, 419, <https://doi.org/10.1093/jrr/rrv074>.
- [10] Hotzone Solutions, Safety requirements for the work in the Chernobyl exclusion Zone on a large scale exercise, HZS, 2016.
- [11] Gashchak S. P., Bondarkov M. D., Ivanov Y. I., Maksymenko A. M., Martynenko V. I., Arkhipov A. N., *Radioecology of urban landscape through the example of the town of Pripjat. Problems of the Chornobyl exclusion zone*, IAEA 2009.
- [12] State Scientific and Research Institution 'Chornobyl Centre for nuclear safety, radioactive waste and radioecology', Report on the provision of services under contract No. 0209/2015, Ukraine, 2015.
- [13] Project "End-user driven DEMO for cbrNe (EDEN)", Report: D65.8 – Evaluation Report of the RN Demonstration, European Commission, 2016.
- [14] Regulation of the Polish Council of Ministers of 18 January 2005 on the limit dose of ionising radiation (Journal of Law 2005 no. 20 pos. 168). [Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 18 stycznia 2005 r. w sprawie dawek granicznych promieniowania jonizującego (Dz.U. 2005 Nr 20, poz. 168)].
- [15] International Atomic Energy Agency, International Labour Office, Occupational radiation protection, safety guide series No. RS-G-1.1, IAEA, Vienna 1999.

- [16] International Atomic Energy Agency, International Labour Office, Assessment of occupational exposure due to external sources of radiation, safety guide series No. RS-G-1.3, IAEA, Vienna 1999.
- [17] Ryzenko J., Smolarkiewicz M. M., *Space-enabled information environment for crisis management. Scenario-based analysis and evaluation in an operational environment*, "Acta Astronautica" 2010, 66, 33–39, <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2009.03.088>.

TOMASZ ZWĘGLIŃSKI, PH.D. – professional fire officer (Lt. Col.) and specialist in civil protection and crisis management. An academic and the Director of the Internal Security Institute at the Main School of Fire Service (Warsaw, Poland). He got his Ph.D. from the Military National Defence Academy in Warsaw (Poland) in the scientific discipline of Security Sciences. He studied fire engineering and crisis management at the Main School of Fire Service (Warsaw, Poland), respectively at the Fire Safety Engineering Faculty and Civil Safety Engineering Faculty. As an occupational safety expert, he graduated from the Warsaw Technical University and Central Institute for Labour Protection – National Research Institute in Poland. He is a high level coordination expert of the European Union Civil Protection Mechanism and a natural disaster expert of Joint Environmental Unit UNEP/OCHA. In 2018, he became a EU CBRN Security Manager by completing an international post-graduate course financed from the EU Internal Security Fund.

ANDRII MAKSIMENKO – Deputy Director General of State Scientific and Research Institution 'Chornobyl Center for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology' (Slavutych, Ukraine). He graduated as Chemical Engineer from the Sevastopol Institute of Nuclear Energy and Industry. He earned his Bachelor of Chemical Engineering and Technology from the Sevastopol Higher Naval Engineering School.

MARCIN SMOLARKIEWICZ, ASSOC. PROF. – in 1998, he graduated from the Faculty of Physics, University of Warsaw. In 2003, he was awarded the title of Doctor of Physical Sciences in the specialization of nuclear physics. In 2014, he received a post-doctoral degree in social sciences in the discipline of defence sciences (dissertation on "The theory of associated matrices and N-dimensional safety matrix – new template methods for crisis management") at the Faculty of Management and Command of National Defence University in Warsaw. Since 2001, he has been employed at the Main School of Fire Service (SGSP) as an assistant, and since 2003 as an Assistant Professor, from 01.07.2005 to 29.02.2008 as the Head of the Educational Centre of Public Safety. Currently, he holds the position of Associate Professor at the Main School of Fire Service. He is the author of over forty national and international publications (including monographs) and a leader of scientific projects in the fields of safety, crisis management, risk analysis and the role and methods of using information systems in safety and security.



CNBOP-PIB

YOUR PARTNER IN
SAFETY

Notified body in the
scope of Regulation (EU)
No 305/2011

Research laboratories
accredited by Polish
Centre for Accreditation

Body entitled to issue
European and national
technical assessments

over **45** years of experience

We act the benefit of public safety in Poland, especially in the scope fire protection, emergency management, civil protection and civil defense.

Our service

- Admittance of fire protection products
- European and national certification of construction products
- Voluntary certification of fire protection products
- Certification of entities offering fire protection services
- European and national technical opinions
- Technical opinions and expertise
- Testing of innovative products
- Test of:
 - equipment of fire protection units
 - fixed firefighting systems
 - chemicals and fires
 - combustion and explosion processes
 - firefighting systems and automatics
- Fire protection training

**CNBOP-PIB SCIENTIFIC AND RESEARCH CENTRE FOR FIRE PROTECTION
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE**

Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów, Poland | tel. +48 22 769 32 73 | cnbop@cnbop.pl | www.cnbop.pl

Robert Piec^{a)*}, Barbara Szykuła-Piec^{a)}, Aneta Łukaszek-Chmielewska^{a)}, Krzysztof Isajenko^{b)}, Iwona Słonecka^{b)}

^{a)} The Main School of Fire Service / Szkoła Główna Służby Pożarniczej

^{b)} Central Laboratory for Radiological Protection / Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej

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

Short-Term Measurements of Radon Concentrations in Selected Residential Buildings

Krótkoterminowe pomiary stężenia radonu w wybranych budynkach mieszkalnych

ABSTRACT

Aim: This article presents the results of radon concentration measurements performed in selected residential buildings using PicoRad carbon detectors. In addition, the need to provide information on the risk of exposure to radon radiation and the possible ways to minimise that risk is also emphasized.

Project and methods: Measurements were performed in the rooms which are the most exposed to ionizing radiation from radon: in basements and on ground floors, with PicoRad carbon detectors being used to that end. The detectors were provided to a selected and properly trained group of students who had the task to place them in the studied atmosphere for 48 hours. After the measurements had been taken, the detectors, once hermetically closed and foil-enveloped, had to be sent immediately to the indicated address.

Results: The average concentration of radon in the air in Poland is about 10 Bq/m³. The results of the research carried out in residential buildings show that the mean radon concentration value in the studied rooms was 30 Bq/m³. The obtained value, although it was higher than the average concentration, did not exceed the values specified by the applicable radon concentration standards for residential buildings. No significant differences between the basements and the ground floor were noticed.

Conclusions: The measurements revealed that the average concentrations of radon in the studied rooms were relatively low, within the limits of 12–85.5 Bq/m³. However, it is worth taking into account the fact that, according to the World Health Organization (WHO), the risk of lung cancer development increases proportionally to the increase in exposure to radon. It grows by 16% per a 100 Bq/m³ increase in the average long-term radon concentration. WHO handbook on indoor radon: A public health perspective recommends to set the national average concentration level of reference to 100 Bq/m³, but if this level cannot be reached, the reference level should not exceed 300 Bq/m³. The highest radon concentrations obtained through the measurements were only slightly lower than the average reference level recommended by WHO, reaching 85.5 Bq/m³. This indicates that such measurements of radon concentrations should be performed in buildings in Poland. Information on the possibility of performing such measurements, on specific countermeasures, and also on the threats posed by high levels of radon should be given to the public in order to raise the general awareness and minimise risks. This appears particularly important from the point of view of strengthening the community's resilience.

Keywords: radon, radiation from natural sources, concentration of radon, social awareness

Type of article: short scientific report

Received: 15.11.2019; Reviewed: 29.11.2019; Accepted: 17.12.2019;

Authors' ORCID IDs: R. Piec – 0000-0002-5234-5639; B. Szykuła-Piec – 0000-0002-4533-232X; A. Łukaszek-Chmielewska – 0000-0002-8356-5175; K. Isajenko – 0000-0002-9437-3988; I. Słonecka – 0000-0001-7746-5998;

Percentage contribution: R. Piec – 40%; B. Szykuła-Piec – 31%; A. Łukaszek-Chmielewska – 15%; K. Isajenko – 7%; I. Słonecka – 7%;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 168–173, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.13>;

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 wyniki pomiarów stężenia radonu w wybranych budynkach mieszkalnych przy użyciu detektorów węgla PicoRad. Podkreślono potrzebę informowania o zagrożeniu związanym z narażeniem na promieniowanie radonowe, a także na możliwość jego minimalizacji.

Projekt i metody: Pomiar przeprowadzono w pomieszczeniach najbardziej narażonych na promieniowanie jonizujące – w piwnicach i na parterze – za pomocą detektorów węgla PicoRad. Detektory przekazano wybranej, wyszkolonej grupie studentów, której zadaniem było umieszczenie detektora w badanej atmosferze na 48 godzin. Po wykonaniu pomiarów przygotowany detektor musiał zostać natychmiast wysłany na wskazany adres.

Wyniki: Średnie stężenie radonu w powietrzu w Polsce wynosi ok. 10 Bq/m³. Wyniki badań przeprowadzonych w budynkach pokazują, że średnie stężenie radonu w analizowanych pomieszczeniach wynosi 30 Bq/m³. Wartości te nie przekraczają norm koncentracji radonu w domach. Nie zauważono istotnych różnic między piwnicami a parterem.

Wnioski: Przeprowadzone pomiary pokazują, że średnie stężenia radonu w badanych pokojach są stosunkowo niskie i mieszczą się w granicach 12–85,5 Bq/m³. Warto jednak wziąć pod uwagę fakt, że według Światowej Organizacji Zdrowia ryzyko rozwoju raka płuc wzrasta proporcjonalnie do wzrostu narażenia na działanie radonu. Zwiększa się o 16% na 100 Bq/m³ wzrostu długoterminowego średniego stężenia radonu. W przewodniku WHO

na temat radonu wewnętrznego zaleca się ustalenie średniego krajowego poziomu stężenia odniesienia na 100 Bq/m³. Jeśli osiągnięcie tych wartości nie jest możliwe, poziom odniesienia nie powinien przekraczać 300 Bq/m³. Najwyższe zmierzone stężenia radonu były tylko nieznacznie niższe od średniego poziomu odniesienia zalecanego przez WHO. Wskazuje to, że takie pomiary stężeń radonu należy wykonywać w budynkach w Polsce. Informacja o możliwości dokonania takich pomiarów, a także o zagrożeniach i środkach zaradczych, związanych z wysokimi poziomami radonu, powinna zostać podana do wiadomości publicznej. Pozwoli to na zwiększenie świadomości społecznej, minimalizację ryzyka związanego z narażeniem na oddziaływanie radonu oraz wzmocnienie odporności społeczności.

Słowa kluczowe: radon, promieniowanie ze źródeł naturalnych, stężenie radonu, świadomość społeczna

Typ artykułu: doniesienie wstępne

Przyjęty: 15.11.2019; **Zrecenzowany:** 29.11.2019; **Zatwierdzony:** 17.12.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: R. Piec – 0000-0002-5234-5639; B. Szykuła-Piec – 0000-0002-4533-232X; A. Łukaszek-Chmielewska – 0000-0002-8356-5175; K. Isajenko – 0000-0002-9437-3988; I. Słonecka – 0000-0001-7746-5998;

Procentowy wkład merytoryczny: R. Piec – 40%; B. Szykuła-Piec – 31%; A. Łukaszek-Chmielewska – 15%; K. Isajenko – 7%; I. Słonecka – 7%;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 168–173, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.13>;

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

Introduction

As many as 264 stable atomic nuclei, i.e. those that are not subject to decays, and nearly 2,450 unstable decaying nuclei, called radioactive nuclei, have been identified to date [1]. As revealed by 2018 data, a Polish resident received an average dose of ionizing radiation of approximately 3.74 mSv throughout the calendar year. Most of that dose came from natural sources, accounting for about 2.43 mSv/year, and 32% of that was radon radiation. The dose received by an average Pole from artificial sources was estimated at 1.31 mSv [2]. The total annual dose of ionizing radiation received by an average inhabitant of Poland in recent years has changed slightly; in 2017, it was 3.56 mSv [3], while in 2016, it was 3.55 mSv [4]. Radon is a colourless and odourless gas, heavier than air, and soluble in water. It belongs to radioactive chemical elements from the group of noble gases. The average dose coming from radon has a relatively large range – from 1 mSv/year to even 10 mSv/year [5]. This mainly results from the geological structure of the area. Summing up all the radiation doses, it can be assumed that in recent years an average inhabitant of Poland has received about 3.62 mSv in a calendar year from both natural and artificial sources [2], [3], [6]. According to literature [7–10], the dose received by an average Pole is much lower than in some other regions of the world. In the state of Kerala (India), an average resident receives over 13 mSv/year, in Guarapari (Brazil) about 790 mSv/year, and in Lodève and Lauragais (France) about 870 mSv/year. Nevertheless, it should be remembered that the following statement is one of the most important recommendations of the International Commission on Radiological Protection (ICRP) concerning radiological protection: "No practice involving exposure to radiation should be allowed unless this practice brings sufficient benefits to the exposed people or society, outweighing the detriments caused by radiation in the form of health damage associated with this practice" [11].

Methodology

Radon concentration measurements were performed in selected buildings using PicoRad carbon detectors. These are measuring devices that use the commercially available Accuspec carbon detectors in the form of small cylinders, comprising a transparent gas container with activated carbon and with a mixed vapour sorbent. To measure the frequency of scintillation, the detector is placed in a photomultiplier well. Knowing the date and time of the start and end of exposure, the date and time of flooding with the scintillator, as well as the measurement time in the counter and the temperature during exposure, the concentration of radon is calculated using the TRI CARB 1900 liquid scintillation analyser counter manufactured by Packard-Canberra, with software for converting the measured frequency into radon concentration data. The lower detection threshold of the PicoRad system is approximately 11 Bq/m³ for a two-day exposure [12].

The detectors were given to a selected group of properly trained postgraduate students of the Main School of Fire Service, specialising in the safety of nuclear energy, who had to place these devices in the studied rooms for 48 hours. Once the measurements had been completed, they had to immediately send the detectors back to the indicated address, i.e. to the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) in Warsaw. Table 1 features the localities where the students performed the measurements.

Radon concentration measurements with PicoRad detectors were performed in accordance with the following procedure [13]:

1. Close hermetically the room in which the measurement is taken at least the day before the measurement starts (close the doors and windows).
2. Place the detector in the basement not closer than 1 m from the walls (if there is no basement in the building, the detector should be placed on the ground floor).
3. Open the detector (remove the cap) and place it in the

studied atmosphere for 48 hours. Write down the date and time of the measurement start.

4. During the measurement, close the room and, if possible, do not get in the room.
5. After the exposure, screw the cap hermetically and write down the date and time of the end of exposure, as well as the average ambient temperature during exposure.
6. Send the detector back, hermetically closed and foil-enveloped, together with the following information:
 - the date and time of the measurement start,
 - the date and time of the measurement end,
 - the average temperature of the room during the measurement,
 - the place in which the measurement was performed (type of the building – a free-standing house or a block of flats, the basement or the ground floor),
 - the detector number (as per the sticker on the detector),
 - the name and surname of the person who performed the measurement,
 - the locality in which the measurement was taken,
7. Immediately after the study, send the detector back to the indicated address.

Reading was done by the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) in Warsaw.

Table 1. Localities where the students performed radon concentration measurements

Locality	Voivodeship
Ludźmierz near Nowy Targ	Małopolskie
Jastrzębie Zdrój	Śląskie
Piła	Wielkopolskie
Nowy Sącz	Małopolskie
Kraków	Małopolskie
Śońnicowice	Śląskie
Zakrzew	Mazowieckie
Szerzyny	Małopolskie
Katowice	Śląskie
Kędzierzyn-Koźle	Opolskie
Leszno	Wielkopolskie
Sanok	Podkarpackie
Opole	Opolskie
Kielanówka	Podkarpackie
Oświęcim	Małopolskie
Białystok	Podlaskie
Stryżawa	Małopolskie
Wrocław	Dolnośląskie

Source: Own elaboration based on the research results.

Results

The results of radon concentration measurements are presented in Table 2. All the studies were conducted either in the basements or on ground floors of buildings where people live or work. The exposure time was two days (48 hours).

In the PicoRad method, errors in measuring radon concentrations are likely to result from errors in measuring the average number of pulse counts per minute. These measurements were performed with an error of 2 δ , not exceeding 10% for low radon concentrations and 5% for concentrations greater than 20 Bq/m³.

Research analysis

In Poland, the average radon concentration in the open air reaches around 10 Bq/m³ [5]. An increased value of radon activity can be observed in south-western Poland (Świeradów 24 Bq/m³, Kowary 30 Bq/m³) due to the geological structure of this region and soil type (the presence of areas with exposed magma rocks – the Sudetes) [5]. Furthermore, the atmospheric conditions impact on the amount of radon exhalation from the ground. Another important source of radon presence in buildings are building materials since natural minerals are used in their production. In addition, due to the solubility of radon in water, another source of its presence comes from ground waters and secondary rivers in which mine water is spilled. However, this is not a phenomenon occurring along the entire course of the river, but only near the estuary of these water sources [14].

The results of the research carried out in residential buildings indicate that the 2-day average value of radon concentrations in the studied rooms was 30 Bq/m³. The lowest radon concentration was measured in single-family house basements in Ludźmierz near Nowy Targ, with a value of 12 Bq/m³, and the highest concentration reached 85.5 Bq/m³ in the basement of a one-storey house in Zakrzew. The most important factor influencing the radon concentration in apartments is their ventilation. The way apartments are ventilated depends on the external temperature and inhabitants' habits. Other factors influencing the radon concentration can also be the technical changes introduced in buildings, such as window replacements, building insulation or ventilation improvements.

In the measurements carried out, the average radon concentration on the ground floor was 31 Bq/m³, while on the first floor it was 29 Bq/m³.

Social aspects of radon testing

Let us remind you that radon (Rn-222) is a colourless and odourless, natural radioactive noble gas that is formed from the decay of radioactive uranium-238, a mineral found in the earth's crust. Emissions in areas rich in uranium give rise to the presence of a certain level of radon in the facilities located in these areas, including residential buildings. Due to its natural presence, forced human contact with radiation is noted.

Table 2. Measurement start and end dates, locality, place of exposure and radon concentrations in the studied rooms

Measurement start	Measurement end	Locality	Place of exposure	T [°C]	Crn [Bq/m ³]
20.02.2017	22.02.2017	Ludźmierz near Nowy Targ	basement in a single-family house	6	12
01.02.2017	03.02.2017	Jastrzębie Zdrój	room in the basement of the municipal headquarters of the State Fire Service	28	16
27.03.2017	29.03.2017	Piła	basement in a block of flats	18	14.5
23.01.2017	25.01.2017	Nowy Sącz	ground floor in the municipal headquarters of the State Fire Service	19	31.3
21.01.2017	23.01.2017	Kraków	basement in a block of flats	16	34.2
23.01.2017	25.01.2017	Śońnicowice	basement in a single-family house	18	47.2
24.02.2017	24.02.2017	Zakrzew	basement in a one-storey house	4.5	85.5
24.02.2017	24.02.2017	Zakrzew	basement under stairs in a one-storey house	22	17.7
04.02.2017	06.02.2017	Szerzyny	basement in a single-family house	10	17.6
31.01.2017	02.02.2017	Katowice	basement in a block of flats	10	16.4
31.07.2017	02.08.2017	Kędzierzyn-Koźle	ground floor in a house	22	17.6
30.01.2017	01.02.2017	Leszno	basement in a brick building	18	35.9
22.01.2017	24.01.2017	Sanok	basement in a single-family house	12	11.3
21.01.2017	23.01.2017	Lwow	ground floor in a single-family house	21	21.7
03.02.2017	05.02.2017	Opole	high ground floor in a free-standing house	20	15.2
05.02.2017	07.02.2017	Kielanówka	basement in a single-family house	15	14.7
27.01.2017	29.01.2017	Oświęcim	basement in a single-family house	10	39.6
30.01.2017	01.02.2017	Białystok	ground floor in a free-standing house	20	68.3
22.01.2017	24.01.2017	Stryszawa	basement in a brick house	5	54.2
26.01.2017	28.01.2017	Wrocław	basement in a housing unit	11	24.2

Source: Own elaboration based on the research results.

Many people underestimate the seriousness and long-term health effects of radon exposure, and despite having the knowledge and awareness of its level in their homes, as well as preventive measures, they do not take action to minimise the risk of specific activities [15–17].

Important, from the point of view of the resilience of inhabitants of the areas exposed to radiation, is their own ability to monitor and minimise the risks associated with the level of radon. Resilience is understood as flexibility of a given community in the context of the internal adaptation capacity before, during and after certain events that interfere with its multidimensional functioning, connected with the sense of trust and security. However, in order for such activities to take place, it is necessary to inform people on these possibilities and to shape their attitudes, mainly in the cognitive sphere. This task rests with decision-makers whose role is to send the right message.

The social message, as an aid in undertaking appropriate preventive actions, is formulated in the following five steps:

- testing to determine to what extent radon is present,
- deciding whether the level is a threat,
- choosing the right recovery strategy,
- implementing the corrective strategy, and
- re-checking to ensure that the corrective action has been successfully completed [18].

It is important to create guidelines for this type of a message and investigate the social perception of such risks. Identifying the variables that affect risk perception, the standards recognized by a given group, and the level of trust in the sources of information about it come to the fore. Risk perception can be defined as “people’s beliefs, attitudes, judgments and feelings, as well as the broader social and cultural values, and the disposition that people adopt regarding risks and their benefits” [19]. On the one hand, from the psychological point of view, this definition particularly

includes two components of attitude, i.e. cognitive and emotional, which together determine the third behavioural component. On the other hand, sociologically speaking, risk perception is strongly embedded in the social context, a joint definition and actions taken. Therefore, it is important for the successful testing of radon levels and the implementation of appropriate practices, a holistic approach to the community at risk of radiation, consisting in strengthening both individual and collective behaviours related to monitoring, reacting, learning and predicting possible events [20] with their consequences. All these variables are the germ of the methodology of studying social resilience in relation to the features of the social system.

Conclusions

The measurements carried out show that the average concentrations of radon in the studied rooms are relatively low, within the limits of 12–85.5 Bq/m³. However, it is worth taking into account the fact that, according to the World Health

Organization (WHO), the risk of lung cancer development increases proportionally to the increase in exposure to radon. It grows by 16% per a 100 Bq/m³ increase in the average long-term radon concentration [21]. “WHO handbook on indoor radon: A public health perspective” recommends setting the national annual average concentration level of reference to 100 Bq/m³, but if this level cannot be reached, the reference level should not exceed 300 Bq/m³ [21]. In Poland, also in the Atomic Law, the reference level was established for the average annual radioactive concentration of radon in the air, for both indoor workplaces and rooms intended for people, as not exceeding 300 Bq/m³ [6].

The highest radon concentrations measured were only slightly lower than the average reference level recommended by WHO, reaching 85.5 Bq/m³. This indicates that such measurements of radon concentrations should be performed in buildings in Poland. Information on the possibility of performing such measurements, on specific countermeasures, and also on the threats posed by high levels of radon should be given to the public in order to raise the general awareness and minimise risks.

Literature

- [1] Jaworski B. M., Dietlaf A. A., *Fizyka. Poradnik encyklopedyczny*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 1995.
- [2] Raport Roczny PAA, Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2018 roku, PAA, Warszawa 2019.
- [3] Raport Roczny PAA, Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2017 roku, PAA, Warszawa 2017.
- [4] Raport Roczny PAA, Działalność Prezesa Państwowej Agencji Atomistyki oraz ocena stanu bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej w Polsce w 2016 roku, PAA, Warszawa 2017.
- [5] Smolarkiewicz M., Piec R., Chmielewska-Łukaszek A., *Bezpieczeństwo energetyki jądrowej*, SGSP, Warszawa 2017.
- [6] Ustawa z dnia 29 listopada 2000 r., Prawo atomowe (Dz.U. 2001 Nr 3, poz. 18) z późn. zm.
- [7] Gostkowska B., *Ochrona radiologiczna. Wielkości, jednostki i obliczenia*, CLOR, Warszawa 2003.
- [8] Henschke J., *Podstawy ochrony radiologicznej*. Materiał dydaktyczny dla Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej w ramach bloku wykładów pt.: „Podstawy bezpieczeństwa jądrowego i ochrony radiologicznej”, Warszawa 2009.
- [9] Henschke J., Isajenko K., Krajewski P., *Ochrona Radiologiczna. Program rozwojowy Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2011.
- [10] Sobkowski J., *Chemia radiacyjna i ochrona radiologiczna*, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 2009.
- [11] ICRP Publication 103, The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Editor J.Valentin, Elsevier, Annals of the ICRP.
- [12] Mamont-Cieśla K., *Radon – promieniotwórczy gaz w środowisku człowieka*, Centralne Laboratorium Ochrony Radiologicznej, <http://www.if.pw.edu.pl/~pluta/pl/dyd/mtj/MTJ-W-wa/Radon-1a.pdf>, [dostęp: 10.09.2018]
- [13] Procedura pomiaru stężenia radonu za pomocą detektorów węglowych PicoRad, CLOR, 2017.
- [14] Korzeniowska-Rejmer E., *Radon w gruncie i techniki redukcji jego stężenia w obiektach budowlanych*, „Czasopismo Techniczne” 2008, R. 105, z. 1-Ś, 73–88.
- [15] Dowdall A., Fenton D., Rafferty B., *The rate of radon remediation in Ireland 2011–2015: establishing a base line rate for Ireland’s National Radon Control Strategy*, “Journal of Environmental Radioactivity” 2016, 162–163, 113–117, <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.05.001>.
- [16] Chow Y., Meara J., Green B.M.R., Zhang W., *Evaluation and Equity Audit of the Domestic Radon Programme in England*, Chilton: Health Protection Agency-CRCE-013, 2011.
- [17] Doyle J.K., McClelland G.H., Schulze W.D., Locke P.A., Elliott S.R., *Evaluation Strategies for Promoting Effective Radon Mitigation. Risk Communication and Economic Research Series*, Washington, DC: Report prepared for the US Environmental Protection Agency, Office of Policy, Planning, and Evaluation, 1990, Report No.: EPA 230102-90-075.
- [18] Hevey D., *Radon Risk and Remediation: A Psychological Perspective*, “Frontiers in Public Health” 2017, 5(2–63), <https://doi.org/10.3389/fpubh.2017.00063>.
- [19] Pidgeon N., *Risk perception. Risk Analysis, Perception and Management*, Report of a Royal Society Study Group, London 1992, 89–134.
- [20] Hollnagel E., *Introduction to the Resilience Analysis Grid (RAG)* 2015.
- [21] <http://www.who.int/>, [dostęp: 10.09.2018]

BRIG. ROBERT PIEC, PH.D. ENG. – graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service, with the title of M.Sc. Eng. He earned his Ph.D. degree in technical sciences, specialising in environmental engineering, conferred by way of the Resolution of the Scientific Council of the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute. He also completed postgraduate studies in the field of Emergency Management at the Main School of Fire Service, postgraduate studies in the field of Databases at the Warsaw School of Information Technology, and postgraduate studies with Ph.D. seminars devoted to “Risk Analysis” at the Academy of Finance. He has authored or co-authored numerous articles, monograph chapters and papers presented at domestic and international conferences. Currently, he holds the position of Head of the Chair of Engineering Safety at the Main School of Fire Service.

SENIOR CAPT. BARBARA SZYKUŁA-PIEC, PH.D. – graduated from the University of Warsaw, the Philosophy and Sociology Department, the Institute of Sociology. In addition to pursuing her research interests, she is also active in working with addicts as a volunteer and instructor at the Stefan Batory Foundation in Warsaw. Since 2002 she has worked at the Main School of Fire Service. She has participated in a number of training sessions and courses on emergency intervention. In 2011, she completed postgraduate studies with Ph.D. seminars devoted to “Risk Analysis” at the Academy of Finance. In late 2014, she defended her doctoral dissertation in sociology at the University of Białystok. The issues covered in her dissertation were related to the impact of socio-economic factors on the sense of safety among the residents of districts. Subjects connected with stress, violence, discrimination and equality, in addition to studies of social resilience, culture of trust, behaviour, group relationships and social influence, are among her main fields of interest.

KRZYSZTOF ISAJENKO, M.SC. ENG. – Deputy Director of the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) in Warsaw, Head of the CLOR Department of Dosimetry, and Head of the accredited Laboratory of Natural Radioactivity Measurements; in 1987, graduated from the Faculty of Technical Physics and Applied Mathematics at the Warsaw University of Technology (majoring as an M.Sc. Eng. in Fundamental Technological Research), a multi-annual member of the Commission for the Exploration of the Sea at the Polish Academy of Sciences, a lecturer at the Faculty of Physics at the Warsaw University of Technology, a participant in many training courses on radiation protection and nuclear safety (both domestic and foreign), and the author or co-author of numerous publications dealing with these topics.

IWONA SŁONECKA, M.SC. ENG. – a technical physicist by trade, specialising in medical physics. She is currently pursuing Ph.D. studies at the Warsaw University of Technology, the Faculty of Physics, in the field of nuclear physics, and she deals with Bayesian statistics in the context of mixed radiation and biological dosimetry. She works as a technical and research specialist at the Central Laboratory for Radiological Protection, mainly in biological dosimetry and thermoluminescent dosimetry, and she also conducts training in radiation protection and popular science lectures.

ANETA ŁUKASZEK-CHMIELEWSKA, PH.D. – graduated from the Faculty of Physics at the Warsaw University; Assistant Professor at the Institute of Physics and Chemistry, the Main School of the Fire Service in Warsaw. She conducts research in the field of flammability and smoke production of polymer materials, as well as the radioactivity of environmental components.

Władysław Harmata^{a)*}^{a)} *Military University of Technology / Wojskowa Akademia Techniczna** *Corresponding author / Autor korespondencyjny: w.harmata@interia.pl*

Ion Mobility Spectrometry as a Part of a System for Rapid Detection of Toxic Chemicals

Spektrometria ruchliwości jonów jako element układów do szybkiego wykrywania toksycznych substancji chemicznych

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to present ion mobility spectrometry as a method for the local detection of chemical contaminants.

Introduction: According to the doctrine currently in force in the Military Forces of the Republic of Poland, contamination reconnaissance is the action aimed at identifying the occurrence of chemical, biological, radiological and nuclear (CBRN) incidents or the presence of a CBRN agent in the environment. It involves observation, detection and specific contamination reconnaissance. **Observation** is the systematic tracking of the airspace, ground areas, people, animals and materials. Devices of visual, sound, electronic and photographic observation or other devices enabling the identification of a CBRN incident or the presence of a CBRN agent in the environment are used for that purpose. **Detection** is the action aimed at confirming the occurrence of a CBRN incident or the presence of a CBRN agent in the environment while **specific reconnaissance** is the action taken to specify the type and level of contaminants in the area once the occurrence of a CBRN incident or the presence of a CBRN agent in the environment is confirmed.

Contamination reconnaissance should be prepared and performed as appropriate to the threat level. Moreover, the equipment and operating procedures employed to that end should ensure immediate alerts on the presence of CBRN agents. The current technological advancement of equipment used by fire brigades requires that fire and rescue operations take into account the careful identification of threats which may be present during the operation. The necessity for carrying out reconnaissance results from the nature of buildings under fire. While preparing measures for fighting fires of dangerous chemicals present at a given location and their properties, one should take into account chemical weapon agents (CWAs), toxic industrial chemicals (TICs), explosives, gases creating flammable or self-igniting mixtures, radioactive sources, etc.

Conclusions: Contamination threats in the territory of the Republic of Poland are on an upward trend. The entities included in the National System of Contamination Detection and Alerting should be prepared, in both technical and procedural terms, for conducting reconnaissance and initial identification of contaminants at the place of their occurrence. The system is equipped with devices using ion mobility spectrometry (IMS). According to global trends, these devices should be successively replaced with solutions characterised by better sensitivity and selectivity. New devices could be based on differential mobility spectrometry (DMS). This solution should apply to portable and transportable instruments. The application of new technical solutions should be accompanied by the unification of the system in the area of contamination reconnaissance and the creation of cooperation plans, and this would have a significant impact on the safety of people and infrastructure.

Keywords: contamination reconnaissance, spectrometry, ion mobility

Type of article: review article

Received: 29.08.2019; **Reviewed:** 21.11.2019; **Accepted:** 26.11.2019;

Authors' ORCID ID: 0000-0001-6271-9000;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 174–192, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.14>;

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 prezentacja spektrometrii ruchliwości jonów jako metody punktowego wykrywania skażeń chemicznych.

Wprowadzenie: Zgodnie z dokumentem doktrynalnym obowiązującym w SZ RP *Obroń przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych* rozpoznanie skażeń to działanie mające na celu stwierdzenie faktu wystąpienia zdarzenia CBRN lub obecności czynnika CBRN w środowisku. Realizowane jest poprzez obserwację, wykrywanie oraz szczegółowe rozpoznanie skażeń. **Obserwacja** to systematyczne śledzenie przestrzeni powietrznej, obszarów naziemnych, ludzi, zwierząt oraz materiałów. W tym celu wykorzystywane są przyrządy obserwacji wzrokowej, dźwiękowej, elektronicznej, dokumentowania fotograficznego lub inne urządzenia służące do stwierdzenia obecności lub braku zagrożenia CBRN. **Wykrywanie** to działanie mające na celu potwierdzenie faktu zaistnienia zdarzenia CBRN lub obecności czynnika CBRN. Z kolei **rozpoznanie szczegółowe** to działanie podejmowane w celu określenia rodzaju i poziomu skażeń w rejonie potwierdzonego lub prognozowanego ich wystąpienia.

Rozpoznanie skażeń powinno być przygotowane i realizowane stosownie do poziomu zagrożenia, a sprzęt i procedury działania powinny zapewnić natychmiastowe alarmowanie o obecności czynników CBRN. Aktualny stan zaawansowania techniki pożarnej wymaga uwzględnienia w planowaniu akcji ratowniczo-gaśniczych starannego rozpoznania zagrożeń, jakie mogą zaistnieć w trakcie wykonywania zadania. Oczywista jest konieczność rozpoznania wynikająca z charakteru gaszonego obiektu. Podczas przygotowywania środków do zdławienia pożaru w obiekcie należy brać pod uwagę niebezpieczne substancje chemiczne, które w nim występują, a także ich charakter (bojowe środki trujące, toksyczne środki przemysłowe, materiały wybuchowe, gazy tworzące mieszanki łatwopalne lub samozapalne, źródła promieniotwórcze itp.).

Wnioski: Zagrożenia skażeniami terytorium RP mają tendencję zwyżkową. Podmioty wchodzące w skład Krajowego Systemu Wykrywania Skażeń i Alarmowania powinny być przygotowane pod względem technicznym i proceduralnym na prowadzenie rozpoznania i wstępnej identyfikacji skażeń w miejscu ich występowania. System wyposażony jest w urządzenia wykorzystujące spektrometrię IMS. Zgodnie z trendami światowymi urządzenia te powinny być sukcesywnie zastępowane rozwiązaniami cechującymi się lepszą czułością i selektywnością. Takimi urządzeniami mogłyby być przyrządy oparte o spektrometrię DMS. Dotyczy to przyrządów przenośnych i przewoźnych. Wprowadzeniu nowych rozwiązań technicznych powinno towarzyszyć ujednoczenie systemu w zakresie rozpoznania skażeń, stworzenie planów współdziałania, a to miałyby istotny wpływ na bezpieczeństwo ludzi i infrastruktury.

Słowa kluczowe: rozpoznanie skażeń, spektrometria, ruchliwość jonów

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 29.08.2019; **Zrecenzowany:** 21.11.2019; **Zatwierdzony:** 26.11.2019;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0001-6271-9000;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 174–192, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.14>;

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

Introduction

Air pollution (contamination) monitoring is a crucial component in preventing environmental degradation and ensuring public safety. The term 'pollution' as used in this article refers to accidentally released hazardous gases from chemical plants or factories and threats caused by explosives, illegal drugs and – in military operations – chemical weapon agents (CWAs).

Easy-to-use and economical devices enabling the selective detection of toxic compounds should be available to make the detection and measurement of dangerous substances released to the air both simple and fast.

Instrumental methods used for analysing gaseous air pollutants are based on physico-chemical phenomena, with analytical signals generated by means of devices displaying various degrees of complexity. Such methods enable qualitative and quantitative analyses to be performed simultaneously, their advantages being high sensitivity, detectability and quantification of substances. In addition, their short response time (detection speed) appears essential, especially in the circumstances of an accidental release of flammable and toxic gases.

Given the advantages listed above, instrumental methods have been widely applied in determining safety zones following an accidental release of gases. "[...] Technical means of contamination reconnaissance are expected to display high detectability, high operational speed and the capability of identifying poisonous agents" [2]. Portable automatic devices for chemical contamination reconnaissance constitute the most frequently used equipment capable of detecting chemical weapons. Their mechanical structure is usually quite complex, and their operation involves mainly physical and physico-chemical detection techniques, including ionisation, spectrophotometry, gas thermal conductivity measurement and mass spectrometry.

Wprowadzenie

Monitoring zanieczyszczeń (skażeń) powietrza jest obecnie niezwykle ważnym elementem w zapobieganiu degradacji środowiska oraz w zapewnianiu bezpieczeństwa zdrowotnego ludności. Pojęcie „zanieczyszczenie”, w kontekście niniejszego artykułu, odnosi się zarówno do niebezpiecznych dla życia gazów uwalnianych przypadkowo przez zakłady chemiczne czy fabryki, jak i do zagrożeń związanych z obecnością materiałów wybuchowych, narkotyków oraz – w aspekcie militarnym – bojowych środków trujących (BST).

Wykrywanie i mierzenie uwalnianych do atmosfery niebezpiecznych substancji powinno odbywać się w łatwy i szybki sposób, z wykorzystaniem nieskomplikowanych w użyciu i ekonomicznych przyrządów z funkcją wykrywania selektywnego toksycznych związków.

Metody instrumentalne stosowane w analizie gazowych zanieczyszczeń powietrza związane są ze zjawiskami fizykochemicznymi. Sygnał analityczny uzyskuje się przy pomocy przyrządów o różnym stopniu złożoności. Wykorzystanie tych metod pozwala na jednoczesną analizę jakościową i ilościową. Ich zaletą jest duża czułość, wykrywalność i oznaczalność substancji. Nie bez znaczenia jest również krótki czas odpowiedzi (szybkość wykrywania), który w przypadkach awaryjnych uwolnień gazów palnych i toksycznych jest niezmiernie ważny.

Wymienione wyżej zalety powodują, że metody instrumentalne znalazły szerokie zastosowanie podczas wyznaczania zasięgu stref bezpieczeństwa po awaryjnych uwolnieniach gazów. „[...]Od technicznych środków rozpoznania skażeń wymagana jest wysoka wykrywalność, duża szybkość działania oraz zdolność identyfikacji środka trującego” [2]. Najczęściej stosowanymi przyrządami sygnalizującymi użycie broni chemicznej są przenośne, automatyczne przyrządy rozpoznawania skażeń chemicznych. Ich budowa mechaniczna zazwyczaj jest złożona. Działanie wykorzystuje głównie fizyczne i fizykochemiczne metody detekcji – jonizacyjne, spektrofotometryczne, pomiaru przewodności cieplnej gazów oraz spektrometrię mas.

In order to detect threats caused either by an uncontrolled release of toxic chemical substances to the environment (transport or industrial breakdowns, terrorism) or by smuggling of chemical (explosives, illegal drugs), biological or radioactive substances, the entities in charge of safety, and in particular the Military Forces of the Republic of Poland, the State Fire Brigades and the National Border Guards, need to employ professional and high-tech solutions for the prompt reconnaissance (and often also monitoring) of contamination incidents. In the age of the growing incidence of so-called lifestyle diseases (e.g. type 2 diabetes) and a significant impact of environmental contamination on human health and life, it appears necessary to be able to quickly analyse, for instance, metabolites or so-called biomarkers through pre-medical tests. Aiming at a fast, selective and sufficiently sensitive analysis of chemical substances present in the air (such as CWAs, TICs, illegal drugs, explosives or metabolites in exhaled air), such techniques as ion mobility spectrometry (IMS) or differential ion mobility spectrometry (DMS) can be used. Devices equipped with IMS or DMS-based detectors are utilised, for instance, by military forces around the world, as well as by State Fire Brigades and the National Border Guards, for contamination reconnaissance. Their major advantages include sampling performed on-site and a possibility to remotely detect, provisionally identify and measure dangerous substance concentration.

Analytical spectroscopy and its use in portable automatic devices for measuring the concentrations of various air pollutants

Spectroscopy is the study of the occurrence and interpretation of spectra generated through interactions of all kinds of radiation with groups of atoms and molecules. By observing them, the structure and properties of atoms, molecules and atomic nuclei can be determined, which are then used as a basis for describing the structure of chemical compounds and mechanisms governing individual reactions. Spectroscopy provides a theoretical basis for spectroscopic methods which can be divided by applying the following criteria:

- the manner of spectrum generation:
 - absorption spectroscopy – performed across the electromagnetic spectrum to measure the absorption of radiation;
 - emission spectroscopy – performed across the electromagnetic spectrum to measure emissions in a given system;
 - raman spectroscopy – performed across the electromagnetic spectrum to determine vibrational modes of molecules based on inelastic scattering;
- the type of a system:
 - atomic spectroscopy – performed on the linear spectrum generated by the electrons moving between various energy levels of an atom;
 - molecular spectroscopy – performed on molecular spectra;

Wykrywanie zagrożeń spowodowane niekontrolowanym uwolnieniem do środowiska toksycznych substancji chemicznych (awarie transportowe, przemysłowe, terroryzm) czy przemyt substancji chemicznych (materiały wybuchowe, narkotyki), biologicznych lub promieniotwórczych wymaga od służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo, a mianowicie SZ RP, Państwowej Straży Pożarnej, Straży Granicznej, profesjonalnych, zaawansowanych technologicznie rozwiązań do szybkiego rozpoznania (a często i monitorowania) zaistniałych skażeń. W dobie wzrostu zachorowań na tzw. choroby cywilizacyjne (np. cukrzycę) i wpływu skażeń środowiskowych na zdrowie i życie ludzi zachodzi konieczność szybkiej analizy np. metabolitów czy tzw. biomarkerów w badaniach przedlekarskich. Do szybkiej, selektywnej i odpowiednio czulej analizy substancji chemicznych w powietrzu (BST, toksyczne substancje przemysłowe – TSP, narkotyki, materiały wybuchowe, metabolity w wydychanym powietrzu) mogą być wykorzystane techniki spektrometrii ruchliwości jonów IMS (*ion mobility spectrometry*) lub różnicowa spektrometria ruchliwości jonów DMS (*differential ion mobility spectrometry*). Urządzenia wyposażone w tego typu detektory wykorzystywane są np. w wielu armiach świata oraz jednostkach PSP i Straży Granicznej do rozpoznania skażeń. Ich główną zaletą jest próbkowanie w miejscu występowania zagrożenia oraz możliwość zdalnej detekcji oraz wstępnej identyfikacji i pomiaru stężenia substancji niebezpiecznej.

Analityczne techniki spektroskopowe i ich zastosowanie w automatycznych przenośnych przyrządach do pomiaru stężenia różnych zanieczyszczeń w powietrzu

Spektroskopia jest nauką o powstawaniu i interpretacji widm wytworzonych w wyniku oddziaływania wszelkich rodzajów promieniowania na zbiorowisko atomów i cząsteczek. Dzięki ich obserwacji można określić budowę i właściwości atomów cząsteczek i jąder atomowych, a na tej podstawie wyjaśnić struktury związków chemicznych oraz mechanizmy poszczególnych reakcji. Spektroskopia jest podstawą teoretyczną metod spektroskopowych. Jej podział można zastosować względem następujących kryteriów:

- metoda otrzymywania widma:
 - spektroskopia absorpcyjna – polega na badaniu widma promieniowania elektromagnetycznego, które przeszło przez środowisko pochłaniające;
 - spektroskopia emisyjna – polega na badaniu widma promieniowania elektromagnetycznego emitowanego przez dany układ;
 - spektroskopia ramanowska – polega na badaniu widma promieniowania elektromagnetycznego rozproszonego niesprężysto na cząsteczkach danej substancji;
- rodzaj układu materialnego:
 - spektroskopia atomowa – polega na badaniu widma o strukturze liniowej, powstającego w wyniku przejść elektronów między różnymi stanami energetycznymi atomu;
 - spektroskopia molekularna – obejmuje badania widm cząsteczkowych;

- nuclear spectroscopy – performed on nuclear spectra, including NMR spectroscopy;
 - electron spectroscopy – performed to determine the electronic structure and its dynamics in atoms and molecules;
- wavelength range – including space spectroscopy, gamma-ray spectroscopy, X-ray spectroscopy, optical spectroscopy, microwave spectroscopy, acoustic spectroscopy and radio spectroscopy [3].

The most useful spectroscopic methods which are used in automatic portable devices for measuring chemical contamination include the following: atomic absorption spectrometry, atomic emission spectrometry, which includes radiation photometric spectroscopy, and ionisation methods, the latter including **ion mobility spectrometry**.

Ion mobility spectrometry (IMS) – background

Ion mobility spectrometry is a technique used to detect chemical weapon agents [4], toxic industrial chemicals [5], illegal drugs [6] and explosives [7].

First ionisation methods for detecting components of gaseous mixtures were developed in 1970. This was when the analytical method was established which enabled measuring not only ionic currents, as had been previously done in electron capture detectors (ECDs) or cylindrical detectors of air ions (CDIs), but also mobility of analyte ionisation products. The original name of plasma chromatography was later replaced with ion mobility spectrometry [8].

Substances are identified based on the speed of ions generated from their molecules, with ion mobility in a gaseous substance being facilitated by a proper electric field. Crucial for IMS is the following equation defining mobility coefficient K :

$$K = \frac{v_d}{E} \quad (1)$$

where: v_d – drift velocity, E – electric field intensity [8].

- spektroskopia jądrowa – polega na badaniu widm jądrowych, do niej zalicza się spektroskopię NMR;
 - spektroskopia elektronów – polega na badaniu rozkładu energii w widmie elektronów emitowanych przez atomy i cząsteczki;
- zakres długości fal promieniowania – zaliczyć można tu spektroskopię kosmiczną, gamma, rentgenowską, optyczną, mikrofalową, akustyczną i radiospektroskopię [3].

Do najważniejszych metod spektroskopowych mających zastosowanie w automatycznych, przenośnych przyrządach do pomiaru skażeń chemicznych zaliczyć można: absorpcyjną spektrometrię atomową, atomową spektroskopię emisyjną, do której należy spektrometria płomieniowo-fotometryczna, metody jonizacyjne, a wśród nich **spektrometria ruchliwości jonów**.

Spektrometria ruchliwości jonów (IMS) – podstawy

Spektrometria ruchliwości jonów IMS jest techniką stosowaną do wykrywania bojowych środków trujących [4], toksycznych środków przemysłowych [5], narkotyków [6] oraz materiałów wybuchowych [7].

Rozwój jonizacyjnych metod wykrywania składników mieszanin gazowych nastąpił w 1970 roku. Opisano wówczas metodę analityczną, w której mierzone są nie tylko prądy jonowe (jak to miało miejsce w detektorach wychwyty elektronu ECD lub cylindrycznych detektorach jonizacyjnych CDI), ale także ruchliwości produktów jonizacji analitu. Pierwotną nazwę chromatografii plazmowej zastąpiono określeniem spektrometrii ruchliwości jonów [8].

Identyfikacja substancji możliwa jest na podstawie szybkości ruchu jonów wytworzonych z cząsteczek tych substancji. Ruch jonów w gazie możliwy jest dzięki odpowiedniemu polu elektrycznemu. Podstawową zależnością dla IMS jest równanie definiujące współczynnik ruchliwości K :

$$K = \frac{v_d}{E} \quad (1)$$

gdzie: v_d – prędkość dryftu, E – natężenie pola elektrycznego [8].

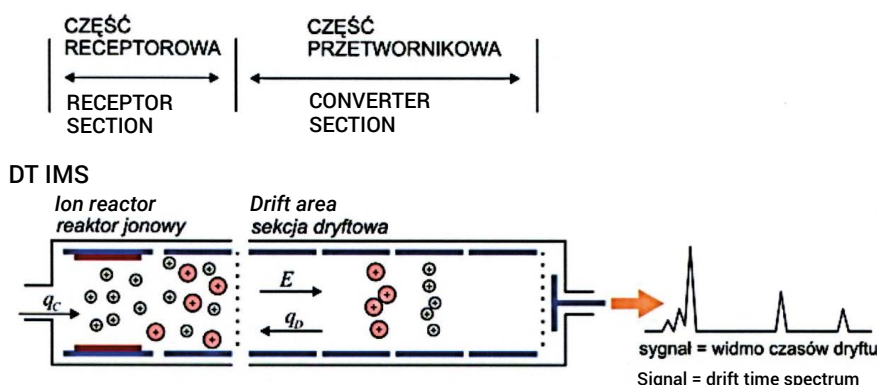
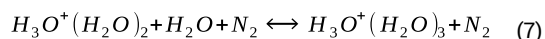
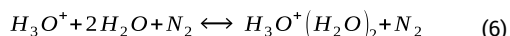
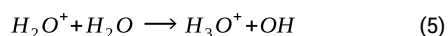
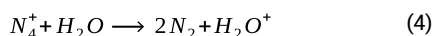
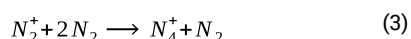
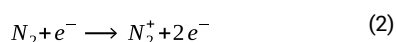


Figure 1. Operating principle of an IMS detector [8]
Rycina 1. Zasada działania detektora IMS [8]

The ion mobility spectrometer chamber is divided into two areas – the reactive area where gas ionisation takes place, and the drift area with a collecting electrode. The generated ions of various mobilities and weights are directed towards a control grid operating in an open-close scheme. This effect is induced by the potential that enables the ion current to go further to the collecting electrode. The temporary opening of the chamber is initiated by short impulses which result in the current peak being visible on the collecting electrode [10].

The internally generated drift gas transports the molecules to radiation source β ^{63}Ni , which is where a multi-stage ionisation process takes place [11, p.13].



The generated hydronium ion $(\text{H}_3\text{O}^+)(\text{H}_2\text{O})_n$ interacts with analyte molecules prompting ion formation. Doping materials are often added to drift gas (which is usually dried air) for modifying the ionisation process. The ions moving towards the collecting electrode are accelerated by a weak electric field 100 to 300 V/cm [12, p.145]. Considering that ion movement takes place in the drift chamber in the opposite direction to the drift gas, the ions collide with drift gas molecules, as a result of which the division process is initiated, and the order with which they discharge on the collecting electrode is determined by mobility coefficients.

The theoretical value of the ion mobility coefficient can be determined using the Mason-Schamp equation [13].

$$K = \frac{3q}{16N} \cdot \left(\frac{2\pi}{\mu kT} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1+\alpha}{\Omega} \quad (8)$$

where:

q – the ion charge,

N – the drift gas number density,

k – the Boltzmann constant,

T – temperature,

α – the correlation coefficient (lower than 0.02),

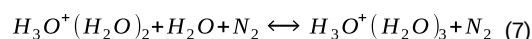
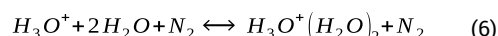
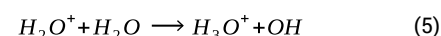
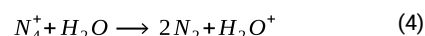
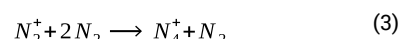
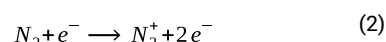
μ – the reduced mass of the ion and the drift gas molecules,

Ω – the collision cross-section.

The ions reach the electrode at various times and velocities. These differences depend on such factors as the weight and charge of the ionised molecule, the charge-specific electric field strength, and drift tube length.

Komora w spektrometrze ruchliwości jonów podzielona jest na dwa obszary – obszar reakcyjny, w którym dochodzi do jonizacji gazu, i obszar dryftu zakończony elektrodą zbiorczą. Otrzymane jony o różnych ruchliwościach i masach kierowane są w stronę siatki dozującej działającej na zasadzie otwórz – zamknij. Efekt ten generowany jest przez potencjał, który umożliwia pracę prądem jonowym docierającym dalej do elektrody zbiorczej. Chwilowe otwarcie komory inicjowane jest przez krótkie impulsy, doprowadzające do tego, że na elektrodzie zbiorczej zauważyć można pik prądowy [10].

Gaz nośny wytworzony w układzie wewnętrznym transportuje analizowane cząstki do źródła β promieniotwórczego ^{63}Ni , gdzie następuje wieloetapowy proces jonizacji [11, s.13].



Powstały jon hydroniowy $(\text{H}_3\text{O}^+)(\text{H}_2\text{O})_n$ oddziałuje z cząsteczkami analitu i tworzy jego jony. Często w celu modyfikacji procesu jonizacji domieszkuje się gaz nośny, którym zazwyczaj jest osuszone powietrze, dodatkowymi substancjami tzw. „dopantami”. Jony w kierunku elektrody zbiorczej są przyspieszane w słabym polu elektrycznym 100 do 300 V/cm [12, s.145]. Ich ruch odbywa się w komorze dryftowej w przeciwnym kierunku do gazu dryftowego, w wyniku czego zderzają się z jego cząsteczkami, następuje właściwy proces rozdziału jonów, a kolejność w jakiej rozładują się na elektrodzie zbiorczej jest określona na podstawie współczynników ruchliwości.

Teoretyczną wartość współczynnika ruchliwości jonów można wyznaczyć przy użyciu równania Masona-Schampa [13].

$$K = \frac{3q}{16N} \cdot \left(\frac{2\pi}{\mu kT} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1+\alpha}{\Omega} \quad (8)$$

gdzie:

q – ładunek jonu,

N – liczba gęstości gazu dryftowego,

k – stała Boltzmana,

T – temperatura,

α – współczynnik korekcyjny (mniejszy od 0,02),

μ – masa zredukowana jon-molekuła gazu,

Ω – przekrój czynny na zderzenia.

Jony docierają do elektrody w różnym czasie i z różną prędkością. Różnice te wynikają z takich zależności jak ciężar i ładunek zjonizowanej cząstki, natężenie pola elektrycznego wewnątrz ładunku, długość sekcji dryftowej.

Practical solutions based on IMS

Ion mobility spectrometry, capable of detecting and identifying organic substances which are considered highly dangerous, has been used for constructing signalling devices utilised by military forces and fire brigades in many countries, as well as in airports, mainly to detect explosives.

Three types of IMS-based devices can be distinguished, i.e.

- portable chemical contamination reconnaissance devices;
- chemical and radioactive contamination reconnaissance devices forming part of both movable and immovable collective protection measures;
- contamination reconnaissance, alerting and warning devices used as part of collective protection measures.

Among the portable devices equipped with IMS detectors, **CAM** (a chemical agent monitor) merits special attention (Figure 2a). This is the first mass-produced automatic detector of CWAs belonging to groups G, V and H, which has enjoyed huge popularity on the market. As reported by its producer, the device was sold in some 50,000 copies within the first five years of its marketing, in several dozen countries around the world (including NATO and Middle East countries). This has led to a range of comparable devices, but with better properties, including **ICAM** – an improved chemical agent monitor, **ECAM** – an enhanced chemical agent monitor, **CAM-2** and **CAM Plus**, which additionally enable detecting certain toxic industrial chemicals (TICs). Similar to AP2C, the original CAM device and its subsequent versions only enable identifying the CWA group (but not specific compounds), the difference being that one measurement detects only one CWA group (G or H). The device operation mode needs to be manually activated. In addition to being easy to operate, CAM devices are also light, have short measurement times (around 1 s) and can be used as quickly as within 1 minute after being turned on; the battery lasts 6–8 hours, and measurements can be performed in various weather conditions. In addition, the operation costs are low as CAM has its own (embedded) source of radiation which is used for ionisation (^{63}Ni) [17]. The main drawbacks include detectability limits above the threshold limit values (TLVs) of the detected compound types V (0.0001 mg/m^3) and H (0.003 mg/m^3), and low specificity. Studies of the impact of various interfering factors (e.g., liquid fuels, household cleaning products containing chlorine, exhaust fumes, solutions of calcium hypochlorite and ammonia solutions, as well as tyre, wood, paper and clothing incineration smoke) on measurements performed with CAM devices type L (the standard version combining CAM-2 with CAMPlus software), have revealed that false positives for the H and G operation modes reach 36% and 53%, respectively [15].

RAID devices (including RAID-AFM, RAID M-100, RAID-S2, RAID-XP, μ RAID) form another group of detection devices. Among these, RAID-M100 (Figure 2b) is very popular, which offers some advantages that are not available in CAM devices. The biggest advantage of RAID-M100 is that, along with simultaneously detecting the CWA groups (G and H) and determining their con-

Rozwiązania praktyczne oparte o technikę IMS

Dzięki możliwości wykrywania i identyfikacji substancji organicznych uznawanych za wysoce niebezpieczne spektrometria ruchliwości jonów wykorzystana została przy konstrukcji sygnalizatorów stosowanych w SZ wielu państw w jednostkach PSP oraz na lotniskach głównie do wykrywania materiałów wybuchowych.

Z przyrządów opartych na technice IMS możemy wyróżnić trzy typy urządzeń:

- przenośne przyrządy do rozpoznania skażeń chemicznych;
- przyrządy do wykrywania skażeń chemicznych i promieniotwórczych montowane na ruchomych i stałych środkach ochrony zbiorowej;
- przyrządy do rozpoznawania oraz alarmowania i ostrzeżenia w zbiorowych środkach ochrony przed skażeniami.

Spośród przenośnych detektorów skażeń opartych o metodę IMS wartym przedstawienia jest przyrząd **CAM** (ryc. 2a). Jest pierwszym seryjnie produkowanym automatycznym sygnalizatorem BST należącym do grup typu G, V oraz H, który zdobył szerokie uznanie na rynku. Jak informuje producent, w pięć lat od wprowadzenia na rynek sprzedano około 50 tysięcy egzemplarzy przyrządu do kilkunastu krajów całego świata (w tym m.in. członkom NATO i krajom Środkowego Wschodu). Spowodowało to, że na jego bazie wyprodukowano szereg przyrządów o ulepszonych właściwościach, takich jak: **ICAM** – Improved Chemical Agent Monitor, **ECAM** – Enhanced Chemical Agent Monitor, **CAM-2** oraz **CAM Plus**, które pozwalają wykryć dodatkowo niektóre TSP. Podobnie do AP2C, CAM i jego wersje pozwalają na wykrycie jedynie grupy BST (bez identyfikacji konkretnych związków) z tą różnicą, że w trakcie pojedynczego pomiaru może zostać wykryta tylko jedna grupa (G lub H) BST. Manualnego włączenia wymaga ponadto wybór odpowiedniego trybu pracy urządzenia. Przyrządy CAM charakteryzują się prostą obsługą, małą masą, krótkim czasem pomiaru (około 1 s), a także szybką gotowością do wykonywania pomiarów po włączeniu (1 minuty), od 6 do 8-godzinnym czasem pracy na pojedynczej baterii oraz możliwością prowadzenia pomiarów w różnych warunkach atmosferycznych. Niskie są także koszty eksploatacji przyrządu ze względu na wykorzystanie do jonizacji wbudowanego źródła promieniotwórczego (^{63}Ni) [17]. Główne wady przyrządu to granice wykrywalności powyżej Najwyższych Dopuszczalnych Stężeń (NDS) wykrywanych związków typu V (0.0001 mg/m^3) oraz H (0.003 mg/m^3) oraz niska swoistość. Na podstawie otrzymanych wyników badań wpływu różnych czynników interferujących (m.in. paliw płynnych, domowych środków czyszczących zawierających chlor, spalin silnikowych, roztworu podchlorynu wapnia, roztworu amoniaku, a także dymów ze spalanych opon, drewna, papieru i odzieży) na pomiar CAM typu L (standardowa wersja przyrządu łącząca CAM-2 z oprogramowaniem CAMPlus) określono, że wskaźniki alarmów fałszywych pozytywnie wyniosły dla trybu pracy H oraz G odpowiednio 36% oraz 53% [15].

Oprócz serii przyrządów CAM na rynku dostępne są przyrządy z serii **RAID** (RAID-AFM, RAID M-100, RAID-S2, RAID-XP, μ RAID). Bardzo znany jest przyrząd RAID-M100 (ryc. 2b). Jego dużą zaletą w porównaniu do przyrządu CAM jest fakt, że oprócz jednoczesnego wykrywania grup BST (typ G i H) oraz określenia ich stężenia,

centrations, it also allows identifying the most popular representatives of CWAs, such as tabun (GA), sarin (GB), soman (GD), cyclosarin (GF), Vx, Russian Vx (VxR), sulphur yperite (HD), nitrogen yperite (HN), lewisite (L), prussic acid (AC) and some TICs containing chlorine (Cl_2), chlorites (Cl_x), sulphur dioxide (SO_2) and cyanides (CY). The device, upon detecting a toxic agent, displays its name (acronym) on a LCD screen, together with concentration, presented as one of the eight available concentration levels. Sound and visual signals (lamps) are also used to denote the concentration level. In addition, with an embedded continuous data recording system, based on two integrated recorders, RAID-M100 makes it possible to monitor contamination on an ongoing basis. The two recorders enable two independent spectrum records to be stored on the device (up to 30), together with the following measurement data: date and time of measurement, type and concentration of the detected substance (up to 3000 items). Access to the recorded data is possible through the RAID EventReader software provided with the device. However, disconnecting the device from the power source results in irretrievable loss of all the data that was stored on it. On each activation, the device is set to automatically perform self-control of operational correctness.

Similar to CAM, RAID-M100 has a light structure (less than 3 kg), offers low operation costs (the replacement or servicing of the ionisation source – the isotope – are not required ^{63}Ni), and it is easy to use, as it has only two buttons which the operator can use with one hand, even in protective clothing and with thick gloves on. The device is also water-proof (up to 1 m) and its battery lasts 6 hours [16]. As regards studies of the device measurement specificity, generally-available findings concern the previous version of the device, i.e. the RAID-M model, based on the same measurement method as RAID-M100 but with worse operation parameters. These studies revealed that the low and high temperatures in the environment where the measurement was performed resulted in a six- and seven-fold decrease, respectively, in detection sensitivity for HD. No such effect was observed for GA, while for GB extreme temperature values were found to cause a three-fold reduction of the device sensitivity. The impact of the same interfering factors on measurement was determined as in the studies of the CAM device (type L), including calcium hypochlorite, combustion products of liquid fuels, and the products of plastic materials, wood or cardboard incineration. It was revealed that the combustion products of liquid fuels, contrary to other materials, did not influence measurements performed with the device. In addition, RAID-M was also found to display a lower general number of false positives than the CAM device, at around 25% [17].

pozwała także na identyfikację najbardziej popularnych przedstawicieli BST, takich jak: tabun (GA), sarin (GB), soman (GD), cyklosarin (GF), Vx, Vx rosyjski (VxR), iperyt siarkowy (HD), iperyt azotowy (HN), luisyt (L), kwas pruski (AC) oraz niektórych TSP chloru (Cl_2), chlorki (Cl_x), ditlenek siarki (SO_2), cyjanki (CY). Przyrząd po wykryciu środka trującego wyświetla jego nazwę na ekranie LCD (w postaci akronimu), obok którego umieszczona jest także wartość jego stężenia ze wskazaniem jednego z ośmiu dostępnych poziomów stężeń. Wartość wykrytego stężenia jest także sygnalizowana sygnałem dźwiękowym oraz wizualnie (przy pomocy lampek). RAID-M100 pozwala prowadzić także ciągle monitoring skażeń dzięki posiadaniu wbudowanego systemu do ciągłego zapisu danych opartego o dwa zintegrowane rejestratory. Umożliwiają one prowadzenie dwóch niezależnych od siebie zapisów w pamięci widm (maksymalnie 30) oraz wyników pomiarów: data i godzina pomiaru, rodzaj i stężenie wykrytej substancji (maksymalnie 3000). Dostęp do zapisanych danych umożliwia dostarczane wraz z przyrządem oprogramowanie RAID EventReader. Całkowite odłączenie zasilania powoduje bezpowrotną utratę wszystkich zapisanych w pamięci przyrządu danych. W trakcie każdego uruchomienia przyrząd jest ustawiony na automatyczne dokonanie samokontroli poprawności działania.

RAID-M100 posiada, podobnie jak CAM, niewielką masę (poniżej 3 kg), niskie koszty eksploatacji (nie wymaga wymiany oraz serwisowania posiadanego źródła jonizacji, które pełni izotop ^{63}Ni) oraz jest prosty w obsłudze – posiada tylko dwa przyciski, które operator przyrządu może obsługiwać jedną ręką nawet w założonych grubych rękawicach i odzieży ochronnej. Charakteryzuje się ponadto wodoszczelnością (do 1 m) i sześciogodzinnym czasem pracy na pojedynczej baterii [16]. Dostępne są badania nad poprzednikiem przyrządu, modelem RAID-M bazującym na tej samej metodzie pomiarowej co RAID-M100, ale o gorszych parametrach użytkowych. Badania te wykazały, że niska i wysoka temperatura otoczenia, w którym wykonywany jest pomiar, powoduje odpowiednio sześciokrotny i siedemnastokrotny spadek czułości RAID-M w wykrywaniu HD. Efektu tego nie zaobserwowano dla GA, natomiast podczas wykrywania GB ekstremalne wartości temperatur zmniejszają czułość przyrządu trzykrotnie. Wykonano także pomiary wpływu tych samych czynników interferujących na pomiar, co w badaniach przeprowadzonych nad CAM (wersja L), m.in. podchlorynu wapnia, produktów spalania paliw płynnych, produktów spalania tworzyw sztucznych, drewna, kartonu. Zauważono, że produkty spalania paliw płynnych – w przeciwieństwie do produktów spalania innych materiałów – nie mają wpływu na pomiary przyrządu. Określono także, że RAID-M cechuje się mniejszą ogólną liczbą alarmów fałszywie dodatnich niż CAM, która wynosi około 25% [17].



Figure 2. Portable devices with an IMS detector: a) CAM, b) RAID-M100 [18–19]
Rycina 2. Przenośne przyrządy z detektorem IMS: a) CAM, b) RAID-M100 [18–19]

Devices intended for movable collective protection measures form the second group of devices based on IMS detectors. One of these is CHERDES II-M (Figure 3), a monitor of chemical and radioactive contaminants, which serves the purpose of detecting and identifying chemical weapon agents, toxic industrial chemicals, radioactive contamination and close nuclear explosions, as well as measuring the dose and strength of gamma radiation [20].

Drugą grupę przyrządów opartych o detektory IMS stanowią urządzenia montowane na ruchomych środkach ochrony zbiorowej. Przykładem może być sygnalizator skażeń chemicznych i promieniotwórczych CHERDES II-M (ryc. 3), który służy do wykrywania i identyfikacji skażeń bojowymi środkami trującymi (BST), toksycznymi środkami chemicznymi (TSP), wykrywania skażeń promieniotwórczych, bliskich wybuchów jądrowych oraz pomiaru dawki i mocy dawki promieniowania gamma [20].

- 1 – An automatic monitor of chemical contaminants GID-3;
- 2 – A section of TIC and close nuclear explosions detection;
- 3 – A radiometric probe – ZR-1 (2 pcs. external and internal one);
- 4 – A display panel;
- 5 – A shock-absorbed assembly frame;
- 6 – A section of air intake TATS (unseen on the photo)

- 1 – Automatyczny sygnalizator skażeń chemicznych GID-3;
- 2 – Blok wykrywania skażeń TSP i wykrywania bliskich wybuchów jądrowych;
- 3 – Sonda radiometryczna – ZR-1 (2 szt. zewnętrzna i wewnętrzna);
- 4 – Pulpit wyświetlacza;
- 5 – Amortyzowana rama montażowa;
- 6 – Zespół poboru powietrza TATS (nie widoczny na zdjęciu)

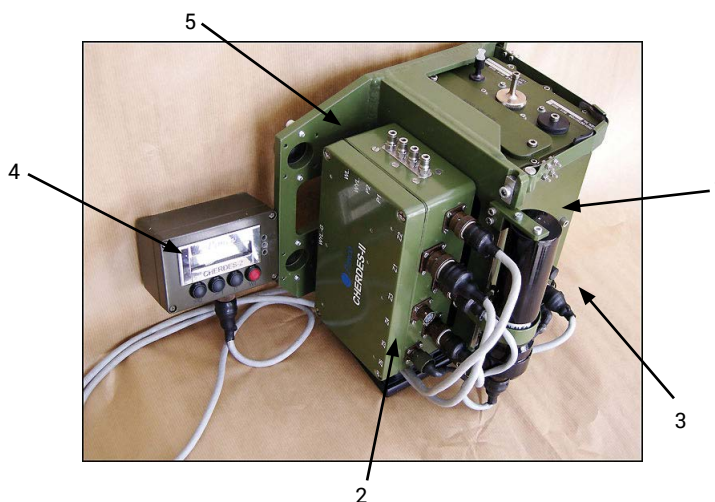


Figure 3. A monitor of chemical and radioactive contaminants CHERDES II [21]

Rycina 3. Monitor of chemical and radioactive contaminations CHERDES II [21]

Explosives are most often detected by means of ion mobility spectrometry, with over 10,000 spectrometers currently operating in airports all over the world. Their use offers numerous advantages such as low operation costs, selectivity and a possibility of conducting analyses at atmospheric pressure. Additionally, these detectors are easy to use and their response time is below 7 seconds. In global terms, more than 10^7 analyses are performed to reveal the presence of explosives based on IMS [22].

Explosive substances are detected for negative polarisation. The following ions are usually generated at a temperature of 100°C and at atmospheric pressure: $(\text{M}-1)^{-}$, M^{-} , NO_2^{-} , their life-cycle being shorter than 1 ms. This is followed by hydrogen detachment, charge transfer or fragmentation. By adding halon or doping materials to the analyser, a reactive Cl^{-} ion is generated, which then gives rise to the following ions: M^{-} and $\text{M}\cdot\text{Cl}^{-}(\text{H}_2\text{O})_n$ [23]. As can be noted, the product depends not only on the properties of the analyte molecule but also on the type of the carrier and addition of the reagent. By way of example, TNT (2,4,6-trinitrotoluene) detection can be described. In the course of analysis, mainly $(\text{TNT}-\text{H})^{-}$ ions, derived from $(\text{TNT}\cdot\text{O}_2)^{-}$ are generated in the air, with $(\text{TNT}-\text{H})^{-}$ formed through hydrogen detachment caused by the attached O_2^{-} . The highest intensity for (TNT) is obtained for trinitrotoluene vapours with a concentration (O_2) in nitrogen reaching 2% or less [24].

Wykrywanie materiałów wybuchowych jest najczęściej prowadzone przy użyciu spektrometrii ruchliwości jonów. Na świecie jest obecnie stosowane ponad 10 000 spektrometrów zabezpieczających pracę lotnisk. Ich użycie jest korzystne ze względu na niskie koszty, selektywność, jak również możliwość analizy pod ciśnieniem atmosferycznym. Dodatkowo detektory te nie są skomplikowane w użyciu, a czas odpowiedzi wynosi poniżej 7 sekund. Na świecie jest wykonywane ponad 10^7 analiz na obecność materiałów wybuchowych z wykorzystaniem IMS [22].

Substancje wybuchowe są wykrywane dla ujemnej polaryzacji. W temperaturze 100°C i pod ciśnieniem atmosferycznym zazwyczaj generowane są jony takie jak: $(\text{M}-1)^{-}$, M^{-} , NO_2^{-} , których czas życia jest krótszy niż 1 ms. Jony te ulegają później odłączeniu wodoru, przeniesieniu ładunku lub fragmentacji. Dodatek halonów lub dopantów do analizatora powoduje powstanie jonu reakcyjnego Cl^{-} , który będzie prowadził do powstania jonów M^{-} i $\text{M}\cdot\text{Cl}^{-}(\text{H}_2\text{O})_n$ [23]. Jak można zauważyć, produkt nie zależy tylko od właściwości molekuly analitu, ale również od natury nośnika i dodatku reagentu. Dla przykładu można tu przedstawić wykrywanie TNT (2,4,6-trinitrotoluenu). W przypadku analizy w powietrzu będą powstawać głównie jony $(\text{TNT}-\text{H})^{-}$ pochodzące od $(\text{TNT}\cdot\text{O}_2)^{-}$, gdzie $(\text{TNT}-\text{H})^{-}$ jest utworzony przez oderwanie wodoru przez przyłączony O_2^{-} . Natomiast jeżeli pary trinitrotoluenu byłyby analizowane, gdy stężenie (O_2) wynosi 2% lub mniej w azocie, uzyskalibyśmy najwyższą intensywność dla (TNT) [24].

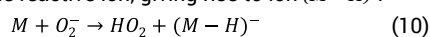
Most explosives belong to a group of nitro-compounds, characterised with strong electronegativity. As a result of chemical ionisation at atmospheric pressure, they generate negative ions, so their analysis based on IMS takes place at negative polarisation. The principal reactive ion will thus be O_2^- , which will be hydrated depending on the content of water vapour in the reactive gas. In the case of adding the reactive gas, alternative ions can be formed, such as Br^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- [25].

When analysing explosives in the negative mode, based on IMS, the following issues need to be considered [25]:

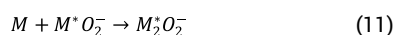
- a) reactions with charge transfer between sample molecule M and reactive ion O_2^- ; the reaction product may dissociate, giving rise to more stable F :



- b) reactions with proton transfer between the analyte molecule and the reactive ion, giving rise to ion $(M-H)^-$:



- c) reactions of dimerisation and clusterisation, becoming more significant with the growing concentration of the analyte:



In consequence, when analysing explosives, the following ion products can be expected to be generated by the principal input ion $M \cdot O_2^- \cdot (H_2O)_2^-$:

- molecular ion: $M^- \cdot H_2O$
- adduct with ion O_2^- : $M \cdot O_2^- \cdot H_2O$
- ion remaining after proton detachment: $(M-1) \cdot H_2O$
- nitronium ion: $NO_2^- \cdot H_2O$

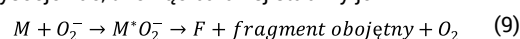
In detecting explosives, selected physical properties of these substances, along with chemical ones, play a decisive role, including in particular vapour pressure. The findings from analyses of selected explosive materials, conducted by means of the IONSCAN 500DT device, are presented in numerous studies [25–27].

IMS-based detectors, despite their obvious advantages (a light structure, short detection time, a satisfactory level of sensitivity) and operational parameters being constantly improved by producers, are still characterised with low specificity of measurements, which leads to frequent false positives. A contamination detection system, when generating false alerts, is likely to be approached with limited trust. For this reason, studies have been conducted in recent years with the aim of improving the IMS technique of contamination detection, by combining it with other technical solutions, one of which is FAIMS (field asymmetric ion mobility spectrometry). It is a combination of a spectrometer, generating an athwart field displaying high strength and frequency, and a classic IMS device. The use of an additional quick-change high-strength field facilitates ion segregation, thus increasing the device selectivity in the compounds detection process. Other studies are aimed at cascading FAIMS detectors with IMS devices [28].

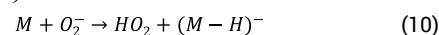
Większość materiałów wybuchowych należy do grupy nitrozwiązków, które charakteryzują się silną elektroujemnością. W wyniku jonizacji chemicznej pod ciśnieniem atmosferycznym tworzyć będą one jony ujemne. Ich analiza za pomocą IMS odbywać się będzie przy polaryzacji ujemnej. Wówczas podstawowym jonem reakcyjnym jest O_2^- , hydratowany w zależności od zawartości pary wodnej w gazie reakcyjnym. W przypadku domieszkowania gazu reakcyjnego powstawać mogą alternatywne jony, takie jak: Br^- , Cl^- , NO_3^- , NO_2^- [25].

W przypadku analizy materiałów wybuchowych w trybie ujemnym za pomocą IMS należy rozpatrzyć między innymi [25]:

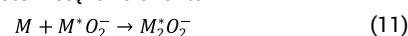
- a) reakcje z przeniesieniem ładunku między cząsteczką próbki M a jonem reakcyjnym O_2^- ; produkt reakcji może dysocjować, tworząc bardziej stabilny jon F :



- b) reakcje z przeniesieniem protonu między cząsteczką analitu, a jonem reakcyjnym, prowadzące do utworzenia jonu $(M-H)^-$:



- c) reakcje dimeryzacji i klasteryzacji nabierające znaczenia wraz ze wzrostem stężenia analitu:



W konsekwencji, w przypadku analizy materiałów wybuchowych, można spodziewać się następujących produktów jonowych powstających z podstawowego jonu wyjściowego $M \cdot O_2^- \cdot (H_2O)_2^-$:

- jonu cząsteczkowego: $M^- \cdot H_2O$
- adduktu z jonem O_2^- : $M \cdot O_2^- \cdot H_2O$
- jonu po odcięciu protonu: $(M-1) \cdot H_2O$
- jonu nitroniowego: $NO_2^- \cdot H_2O$

W detekcji materiałów wybuchowych, poza właściwościami chemicznymi, decydujące znaczenie będą mieć ich wybrane właściwości fizyczne. Będzie to przede wszystkim prężność par. Wyniki badań wytypowanych materiałów wybuchowych za pomocą spektrometru IONSCAN 500DT zaprezentowano w pracach [25–27].

Detektory oparte o technikę IMS, mimo wielu zalet (mała masa, krótki czas detekcji, zadowalająca czułość) oraz ulepszeniu parametrów użytkowych przez producentów, cechują się ciągle niską swoistością pomiarów objawiającą się generowaniem fałszywych wskazań. Powoduje to ograniczenie zaufania do systemu wykrywania skażeń, który może wygenerować niepotrzebny alarm. Z tego też powodu w ostatnich latach prowadzi się badania nad ulepszeniem techniki IMS w wykrywaniu skażeń przez połączenie jej z innymi rozwiązaniami technicznymi. Przykładem jest technika FAIMS, która jest połączeniem spektrometru generującego poprzeczne pole o wysokim natężeniu oraz częstotliwości z klasycznym spektrometrem IMS. Dzięki zastosowaniu dodatkowego, szybkozmiennego pola o dużym natężeniu możliwa jest segregacja przepływających jonów, przez co zwiększa się selektywność przyrządu w wykrywaniu związków. Prowadzone są także badania nad połączeniem kaskadowym detektora FAIMS z detektorem IMS [28].

Along with IMS, chemical contaminants are also detected by means of differential ion mobility spectrometry (DMS) combined with an IMS device or with a mass spectrometer (IMS-MS or DMS-MS).

Differential ion mobility spectrometry (DMS)

Differential ion mobility spectrometry is an extension of the IMS method. It was previously referred to as field asymmetric ion mobility spectrometry (FAIMS). This method uses the strong and variable electric field, its essence being to force oscillatory ion mobility within the spectrometer. This finally leads to a spectrogram (spectrum) of compensation voltage being analysed rather than a spectrogram of drift time (as in the case of the IMS technique).

DMS device structure

The spectrometer features the following elements (Figure 4):

- the ionisation source – radioactive source α or β , usually nickel isotope ^{63}Ni ,
- two opposite plates with electrodes attached (at a distance from 0.1 to 0.5 mm) and high-voltage applied, between 10 kV/cm and 50 kV/cm (often even higher), with frequency adjusted to the distance between the electrodes and the HSV,
- a compensatory electric field generated between two conductors [29].

DMS device operation

Ion mobility change induced by a high electric field constitutes the major difference between the DMS and IMS techniques, and also the principle providing the basis for the DMS device operation.

The impact of an electric field of up to 12 kV/cm is rather insignificant, but above that value a significant dependence of ion mobility on field strength is observed. Some ions display increased mobility while for others (usually heavier ones) decreased mobility can be seen.

Oprócz metody IMS w wykrywaniu skażeń chemicznych wykorzystuje się także technikę różnicowej spektrometrii jonów (DMS) sprzężonej ze spektrometrem IMS lub spektrometrem mas (IMS-MS lub DMS-MS).

Różnicowa spektrometria ruchliwości jonów (DMS)

Różnicowa spektrometria ruchliwości jonów DMS (ang. Differential Ion Mobility Spectrometry) jest rozwinięciem metody IMS. Wcześniej różnicowa spektrometria ruchliwości jonów była nazywana spektrometrią ruchliwości jonów w polu asymetrycznym FAIMS. Metoda ta wykorzystuje silne, zmienne pole elektryczne, a jej istotą jest wymuszenie oscylacyjnego ruchu jonów w obszarze separatora. Ostatecznie do analizy otrzymujemy spektrogram (widmo) napięć kompensacyjnych, a nie spektrogram czasu dryftu (jak to miało miejsce w metodzie IMS).

Budowa spektrometru DMS

W spektrometrze można wyróżnić następujące elementy (ryc. 4):

- źródło jonizacji – źródło α lub β promieniotwórcze, zazwyczaj stosuje się izotop niklu ^{63}Ni ,
- dwie przeciwległe płytki z naniesionymi na nie elektrodami (odległość od 0,1 do 0,5 mm), do których przyłożone jest wysokie napięcie 10 kV/cm do 50 kV/cm (często jeszcze większe) o częstotliwości dostosowanej do odległości pomiędzy elektrodami i napięcia HSV,
- między okładkami generuje się pole kompensacyjne [29].

Zasada działania spektrometru DMS

Podstawową różnicą pomiędzy spektrometrią DMS a IMS i jednocześnie własnością, na której oparta jest zasada działania spektrometru DMS, jest zmiana ruchliwości jonów pod wpływem wysokiego pola elektrycznego.

Do ok. 12 kV/cm wpływ ten jest nieistotny, powyżej tej wartości zaczyna się pojawiać wyraźna zależność ruchliwości jonu od natężenia pola. Dla części jonów można zaobserwować wzrost ruchliwości, dla innych (zwykle ciężkich jonów) obserwujemy spadek ruchliwości.

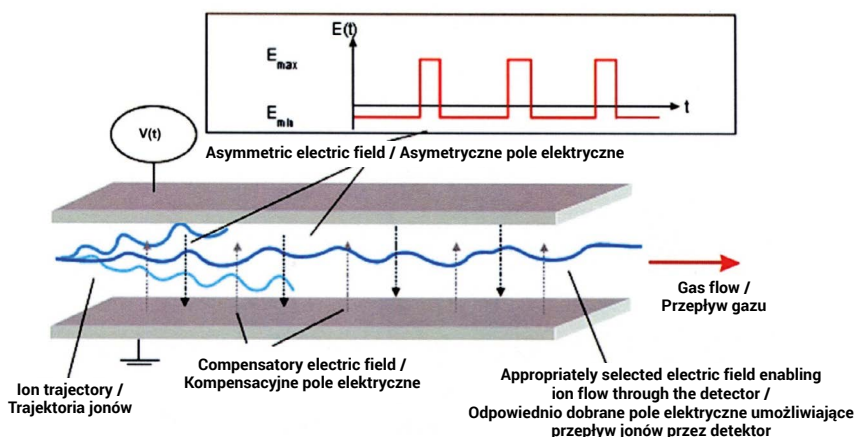


Figure 4. Asymmetric and compensatory electric field in the DMS spectrometer [30]

Rycina 4. Asymetryczne i kompensacyjne pole elektryczne w spektrometrze DMS [30]

The electric field generated between the electrodes is another significant parameter of the DMS device, the frequency of which is adjusted to the distance between the electrodes in order to achieve the following:

$$d < t_1 \cdot K(E/N) \cdot \frac{U_{HSV} \cdot \frac{t_2}{T}}{d} \quad (12)$$

where: d – distance between the electrodes, $K(E/N)$ – mobility for field strength E , with gas molecule number N in 1 cm^3 .

For a distance of 0.25 mm between the electrodes, a minimum frequency of 2 MHz is required.

The HSV waveform should be rectangular with non-symmetrical duty cycles (usually 30%).

During stage t_1 the strength of field E_1 is determined by equation (13), and during stage t_2 the strength of field E_2 corresponds to (14).

$$E_1 = \frac{U_{HSV} \cdot \frac{t_2}{T} + U_{CV}}{d} \quad (13)$$

$$E_2 = \frac{U_{HSV} \cdot \frac{t_1}{T} - U_{CV}}{d} \quad (14)$$

Only those ions for which the mobility difference between the low- and high-voltage fields is levelled off with the appropriate compensation voltage eventually reach the collecting electrode. If the generated HSV has a constant value, the CV value fluctuates from minus CV_{max} to plus CV_{max} , and a characteristic waveform is generated displaying a few peaks.

For a strictly defined HSV, the ionic current is determined for negative and positive ions within full CV range T_1 , the obtained spectrograms are analysed and the characteristic points are recorded in a table. The subsequent data are recorded in a new table for a different value of HSV. The resulting waveform takes the form of a three-dimensional (3D) diagram.

In an ideal case, i.e. when the electrode's length tends to infinity and the coefficient of transversal diffusion equals 0, the following relationship can be described, with the ions reaching the collecting electrode.

$$K(1+\alpha_H) \frac{\left(U_{HSV} \cdot \frac{t_2}{T} + U_{CV} \right)}{d} \cdot t_1 = K(1+\alpha_L) \frac{\left(U_{HSV} \cdot \frac{t_1}{T} - U_{CV} \right)}{d} \cdot t_2 \quad (15)$$

For the purpose of this equation, ion transversal routes are determined for the low and high field intensities. If both routes are equal, the ions move towards the collecting electrode.

If ion mobility is the same in the low- and high-intensity electric fields, the ions do not move towards either of the electrodes but revolve around the central distance between them, towards the collecting electrode ($\alpha = 0$). If a low-strength field is applied to the electrode, the ions move towards the lower elec-

Drugim istotnym parametrem spektrometru DMS jest pole elektryczne generowane pomiędzy elektrodami o częstotliwości dostosowanej do odległości pomiędzy tymi elektrodami tak, aby zachować zależność:

$$d < t_1 \cdot K(E/N) \cdot \frac{U_{HSV} \cdot \frac{t_2}{T}}{d} \quad (12)$$

gdzie: d – odległość pomiędzy elektrodami, $K(E/N)$ – ruchliwość dla natężenia pola elektrycznego E , przy N liczbie cząsteczek gazu w 1 cm^3 .

Dla odległości pomiędzy elektrodami równej 0,25 mm wymagana jest częstotliwość co najmniej 2 MHz.

Przebieg napięcia HSV powinien być przebiegiem prostokątnym o niesymetrycznym wypełnieniu zwykle 30%.

W fazie t_1 wartość natężenia pola E_1 jest określona zależnością (13), natomiast dla cyklu t_2 wartość natężenia pola E_2 jest określona zależnością (14).

$$E_1 = \frac{U_{HSV} \cdot \frac{t_2}{T} + U_{CV}}{d} \quad (13)$$

$$E_2 = \frac{U_{HSV} \cdot \frac{t_1}{T} - U_{CV}}{d} \quad (14)$$

Do elektrody zbiorczej docierają tylko te jony, których różnica ruchliwości dla niskiego i wysokiego pola jest wyrównana odpowiednim napięciem CV (Compensation Voltage). W przypadku gdy generowane napięcie HSV ma stałą wartość, a napięcie CV zmienia się od minus CV_{max} do plus CV_{max} , powstaje charakterystyczny przebieg z pojawiającymi się pikami.

Dla ściśle określonego napięcia HSV określana jest wartość prądu jonowego dla jonów ujemnych i dodatnich dla pełnego okresu T_1 napięcia CV. Uzyskane w ten sposób spektrogramy poddawane są analizie, a charakterystyczne punkty przebiegu są zapisywane w tablicy. Kolejne dane zapisywane są w nowej tablicy dla innej wartości HSV. Uzyskiwany w ten sposób przebieg ma charakter wykresu trójwymiarowego.

W idealnym przypadku, tzn. gdy długość elektrod dąży do nieskończoności i współczynnik dyfuzji poprzecznej równa się 0, można napisać zależność, przy której jony dochodzą do elektrody zbiorczej.

$$K(1+\alpha_H) \frac{\left(U_{HSV} \cdot \frac{t_2}{T} + U_{CV} \right)}{d} \cdot t_1 = K(1+\alpha_L) \frac{\left(U_{HSV} \cdot \frac{t_1}{T} - U_{CV} \right)}{d} \cdot t_2 \quad (15)$$

Dla tego równania wyznaczana jest droga poprzeczna jonów dla dużego i małego natężenia pola, gdy obie drogi są równe, wówczas jony przechodzą do elektrody zbiorczej.

Jeśli ruchliwość jonów jest taka sama w polu elektrycznym o małym i dużym natężeniu, wówczas jony nie przemieszczają się w kierunku żadnej z elektrod, tylko poruszają się blisko środka odległości między elektrodami w kierunku elektrody zbiorczej ($\alpha = 0$). W czasie podania na elektrodę pola o małym natężeniu, wówczas jony poru-

trode ($\alpha < 0$), and if a high-strength field is applied, they move towards the upper one ($\alpha > 0$). Compensation voltage applied to the lower electrode prevents the ions from colliding with that electrode (Figure 5).

szają się w kierunku dolnej elektrody ($\alpha < 0$). W czasie podania na elektrodę pola o dużym natężeniu jony przemieszczają się w kierunku górnej elektrody ($\alpha > 0$). Napięcie kompensacyjne CV przyłożone do dolnej elektrody zapobiega zderzeniom jonów z elektrodą (ryc. 5).

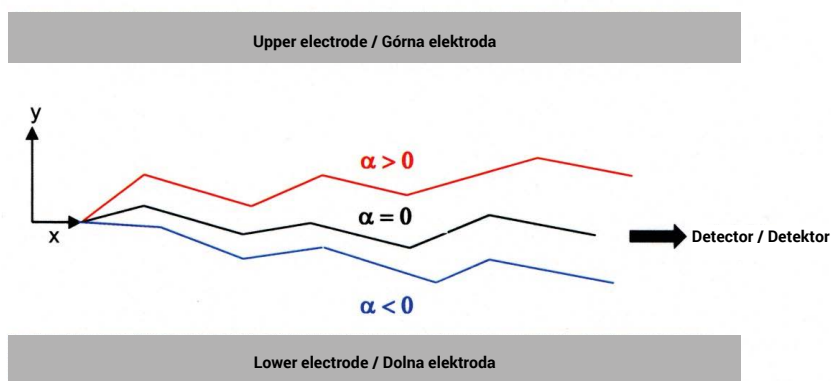


Figure 5. Ion movement in the chamber depending on coefficient α [31]
Rycina 5. Ruch jonów w komorze w zależności od współczynnika α [31]

DMS-based identification of substances

DMS devices can be used to identify substances based on:

- electric field-induced mobility changes – direct identification;
- peak disappearance or appearance, caused by ion disintegration;
- molecule disintegration point – the continuity of characteristic spectra in a 3D diagram.

Direct identification

The identification of detected substances is based on compensation voltage (CV). Figure 6 shows CV versus HSV for methyl salicylate (MS) and reactant ion peak (RIP).

Identyfikacja badanej substancji za pomocą spektrometru DMS

Za pomocą spektrometru DMS substancje możemy identyfikować na podstawie:

- zmiany ruchliwości pod wpływem pola elektrycznego
- identyfikacja bezpośrednia;
- zaniku lub powstania piku, będącego efektem rozpadu jonu;
- punktu rozpadu cząsteczki – ciągłości charakterystycznych widm na wykresie 3D.

Identyfikacja bezpośrednia

Identyfikowanie rodzaju wykrywanej substancji dokonywane jest na podstawie napięcia kompensacyjnego CV. Wykres napięcia kompensacyjnego w funkcji napięcia HSV dla MS (salicylan metylu) i RIP (Reactant Ion Peak) przedstawiono na rycinie 6.

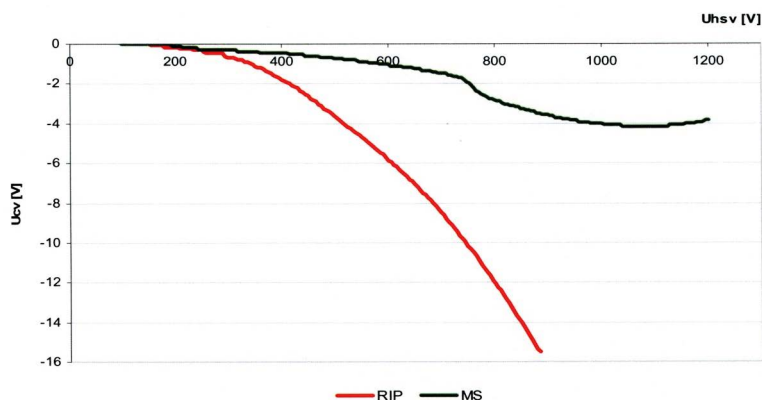


Figure 6. Compensation voltage versus HSV for methyl salicylate [32]

Rycina 6. Wykres napięcia kompensacyjnego w zależności od napięcia HSV dla salicylanu metylu [32]

Immediate identification involves selecting several voltage values and verifying whether the peak occurs within a given CV. This identification method enables chemical substances to be detected within no more than a few seconds.

It takes 0.4 second to collect data for a particular value of HSV, and around 2.8 seconds for the whole data collection cycle (including the subsequent HVS values: 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 and 1200 V). Such an analysis can, therefore, be considered immediate identification.

Another, and perhaps more accurate, method is to perform scanning for the full HSV range (from 100 to 1200 V) and to determine mean squared deviation from the third-order polynomial function, established through the scaling process for the substance being identified.

$$f(x)=a \cdot HSV^3+b \cdot HSV^2+c \cdot HSV+d \quad (16)$$

Identyfikacja natychmiastowa polega na wybraniu kilku napięć i sprawdzeniu, czy pojawia się pik w określonym zakresie napięć CV. Taki sposób identyfikacji substancji chemicznych umożliwia ich wykrycie się w ciągu kilku sekund.

Dla jednej wartości napięcia HSV czas zbierania danych wynosi 0,4 s, wobec czego przy pomiarze dla kilku kolejnych wartości napięć HSV: 600, 700, 800, 900, 1000, 1100 i 1200 V pełny cykl zbierania danych wymaga czasu ok. 2,8 s, co w przypadku takiej analizy można uznać za identyfikację natychmiastową.

Drugim dokładniejszym sposobem jest wykonanie skanowania dla pełnego zakresu napięć HSV (od 100 do 1200 V) i określenie odchylenia średniokwadratowego od funkcji, będącej wielomianem 3-go stopnia wyznaczonym w procesie skalowania dla identyfikowanej substancji.

$$f(x)=a \cdot HSV^3+b \cdot HSV^2+c \cdot HSV+d \quad (16)$$

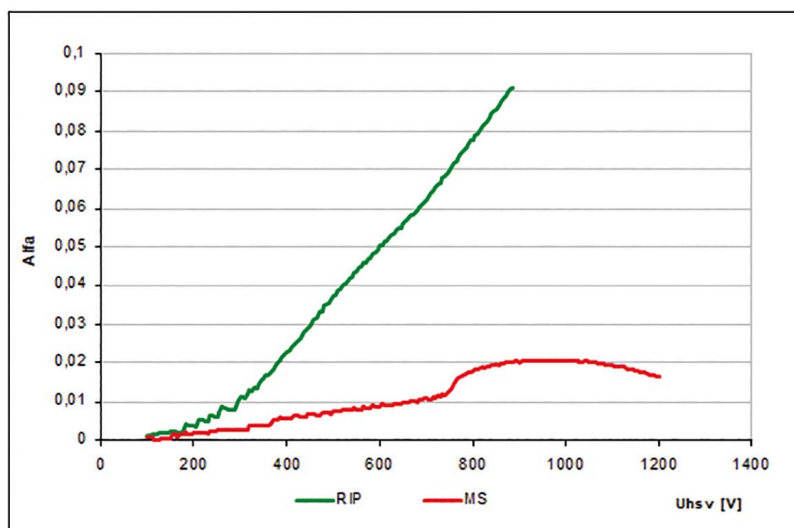


Figure 7. Dependence of coefficient α for MS and RIP on HSV [32]
Rycina 7. Zależność współczynnika α dla MS i RIP od napięcia HSV [32]

The determined dependence of mobility changes on the electric field forms the basis for methyl salicylate identification. The goodness of fit is used as an indicator of standard deviation of measurement points from the curve recorded in the scaling process.

Identification based on the disintegration points of the analysed vapours and gases, and discontinuity of the measured data

DMS often results in increased ion energy, which leads to ion disintegration into lighter pieces. This may take the form of the neutral molecule detaching from the cluster or a part of the molecule chain coming off.

Wyznaczona zależność zmiany ruchliwości od pola elektrycznego jest podstawą do identyfikacji salicylanu metylu. Miarą odchylenia standardowego punktów pomiarowych od krzywej zarejestrowanej w procesie skalowania stanowi stopień dopasowania.

Identyfikacja na podstawie punktów rozpadu analizowanych par i gazów oraz nieciągłości w danych pomiarowych

Spektrometria DMS często powoduje zwiększenie energii jonów, czego skutkiem jest rozpad jonu na fragmenty lżejsze. Czasami jest to odłączenie z klastra cząsteczki neutralnej, a czasami oderwanie części łańcucha cząsteczki.

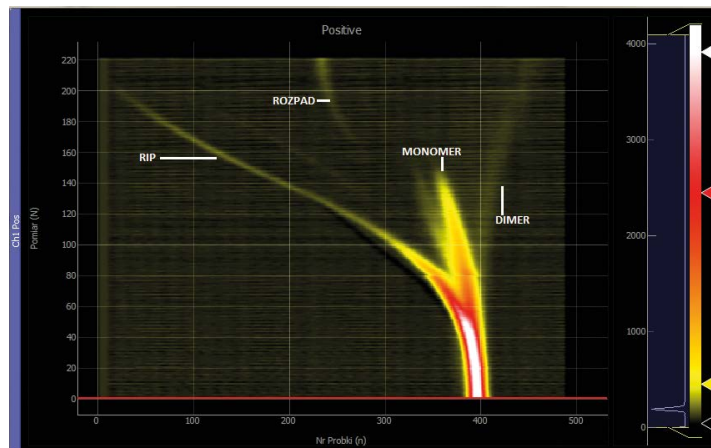


Figure 8. 1 ppm ethanol spectrum with a disintegration point [33]
Rycina 8. Widmo etanolu o stężeniu 1 ppm z punktem rozpadu [33]

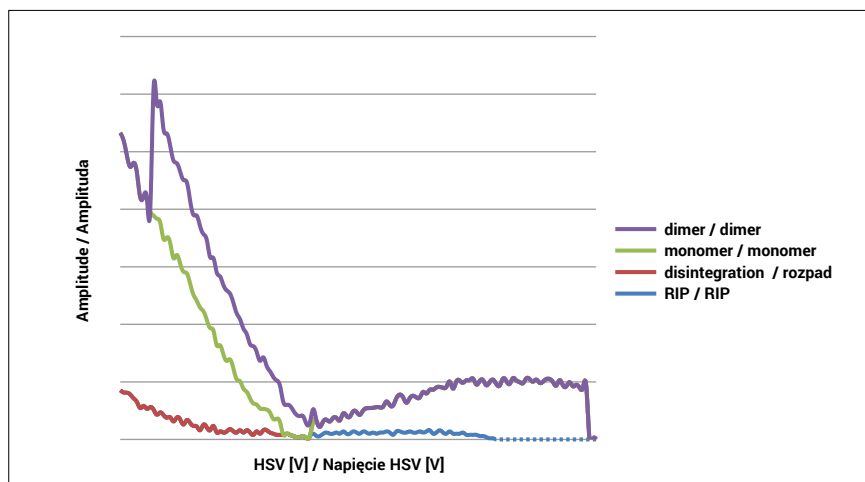


Figure 9. Absolute amplitudes for ethanol at a concentration of 1 ppm [33]
Rycina 9. Amplitudy bezwzględne dla etanolu o stężeniu 1 ppm [33]

The spectrogram recorded for ethanol clearly shows monomer and dimer peaks. Dimer disintegration into the monomer is observed, followed by monomer disintegration. The appearing disintegration peak and the disappearing monomer peak, as presented in the above figures, make it possible to determine the moment of alcohol molecule disintegration, and the higher the HSV, the bigger the disintegration peak amplitude.

Practical domestic solutions

PR51-W is a device using the DMS technique for detecting chemical contamination (including explosives) and radioactive contamination, the latter being subject to probes disconnection. The device is characterised with high resolution (around $R = 60$), high selectivity, a short measurement cycle of around 5 seconds, high sensitivity (below $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for par-

Na spektrogramie zarejestrowanym dla etanolu wyraźnie widać piki pochodzące od monomeru i dimeru. Obserwowany rozpad dimeru na monomer, a w dalszej konsekwencji rozpad monomeru. Powyższe wykresy pozwalają na określenie momentu rozpadu cząsteczki alkoholu poprzez obserwację pojawienia się piku rozpadu oraz zaniku piku pochodzącego od monomeru. Amplituda piku pochodzącego od rozpadu jest tym większa im wyższe jest napięcie HSV.

Krajowe rozwiązania praktyczne

PR51-W jest przykładem urządzenia wykorzystującego technikę DMS do wykrywania skażeń chemicznych, w tym materiałów wybuchowych, a po odłączeniu sond do wykrywania skażeń promieniotwórczych. Urządzenie to charakteryzuje się wysoką rozdzielczością (ok. $R = 60$), wysoką selektywnością oraz krótkim cyklem pomiarowym, który wynosi ok. 5 s, wysoką czułością

alytic-convulsive CWAs, below 200 µg/m³ for burning CWAs, and below TLVs for TICs), and a short response time of around 20 seconds.

The DMS PRS-1W steering system parameters (developed at WICHiR) include [29]:

- HSV generator frequency – 3 MHz,
- peak-to-peak amplitude – 100–1200 V,
- maximum achievable electric field strength – 35 kV/cm,
- maximum normalised electric field strength (E/N) – 160 Td,
- gas flow through the detector – 3 l/min.

(czułość poniżej 20 µg/m³ dla paralityczno-drgawkowych BST i poniżej 200 µg/m³ dla parzących BST, poniżej wartości NDS dla TSP) oraz krótki czas odpowiedzi, to jest ok. 20 s.

Przykładowe parametry układu sterującego spektrometrem DMS PRS-1W (opracowany w WICHiR) [29]:

- częstotliwość generatora HSV – 3 MHz,
- zakres amplitudy napięcia (peak to peak) 100–1200 V,
- maksymalne uzyskiwane natężenie pola elektrycznego – 35 kV/cm,
- maksymalne znormalizowane natężenie (E/N) pola elektrycznego – 160 Td,
- przepływ gazu przez detektor – 3 l/min.



Figure 10. Automatic gas monitor PRS-1W [34]
Rycina 10. Automatyczny sygnalizator gazu PRS-1W [34]

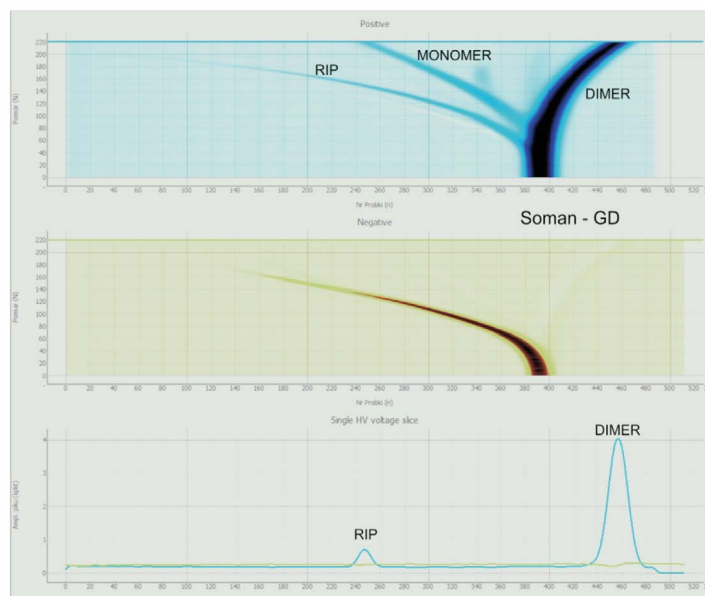


Figure 11. A spectrogram recorded for soman at a concentration of 90 µg/m³ [35]
Rycina 11. Spektrogram somanu 90 mg/m³ [35]

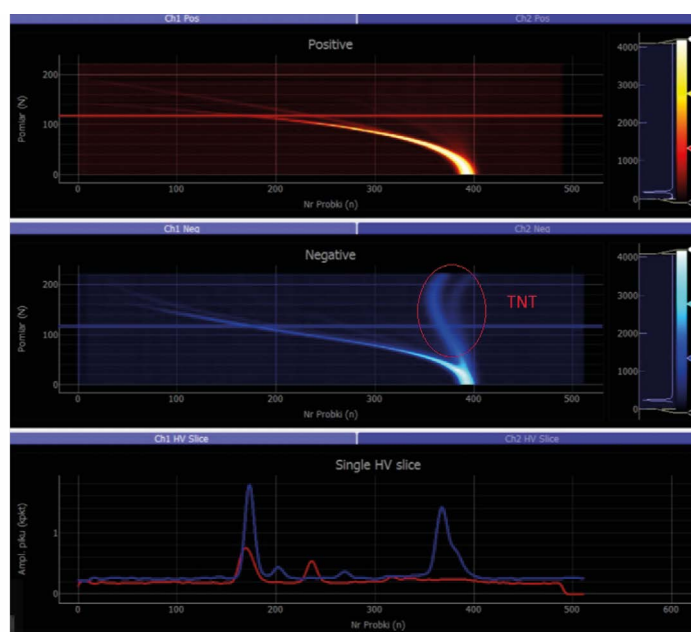


Figure 12. A spectrogram recorded for TNT [36]
Rycina 12. Spektrogram zarejestrowany dla TNT [36]

Figures 11 and 12 present the spectrograms of soman and trotyl, respectively, recorded by means of PRS-1W, in real time, for both positive and negative ions.

Along with typical CWAs, analyses were also conducted on toxic industrial chemicals containing chlorine (Cl_2).

The presented examples lead to the conclusion that gas analyses are much more accurate (even in the presence of VOCs as interfering substances) in calculating gas mobility and coefficient α .

Contemporary diagnostic and treatment methods are based on the identification of symptoms which, unfortunately, frequently indicate an advanced stage of the disease. The air exhaled by humans contains thousands of volatile organic compounds which can act as potential biomarkers of diseases or pathologies. Investigations focused on assessing the exhaled air content are aimed at detecting biomarkers – characteristic substances which could facilitate the diagnosis of such medical conditions as diabetes, kidney diseases or cancer. Exhaled air analyses are also expected to provide additional information on medications taken, stimulants used or diets followed [37].

High sensitivity of DMS-based detectors has encouraged researchers to investigate the potential use of such detectors in medical diagnostics, for instance, in detecting lung and kidney diseases, and diabetes [38].

Summary

Contamination with hazardous chemical substances poses a serious hazard both to the natural environment and to human health and life. Measures aimed at mitigating the consequences

Na rycinie 11 przedstawiono spektrogram somanu, a na rycinie 12 spektrogram trotylu zarejestrowany przez przyrząd PRS-1W w czasie rzeczywistym dla jonów dodatnich i ujemnych.

Oprócz typowych BST przeprowadzono także badania na toksycznych środkach przemysłowych na przykładzie chloru (Cl_2).

Z przytoczonych opisów można wnioskować, że analiza gazu jest dużo precyzyjniejsza (nawet w obecności substancji zakłócających – VOCs) przy zastosowaniu do obliczeń ruchliwości gazu oraz współczynnika α .

Współczesne metody diagnostyki i leczenia oparte są na identyfikowaniu objawów, które w wielu przypadkach świadczą o zaawansowanym już stadium choroby. Powietrze wydychane przez człowieka zawiera tysiące lotnych związków organicznych, które mogą stanowić potencjalne biomarkery chorób lub zmian patogennych. Badania związane z oceną składu wydychanego powietrza zmierzają do znalezienia w wydychanym przez człowieka powietrzu biomarkerów – charakterystycznych substancji, pomocnych w diagnozowaniu takich schorzeń, jak: cukrzyca, choroby nerek czy nowotwory. Dodatkowo analiza oddechu może dostarczyć informacji o stosowanych lekach, używkach czy rodzaju diety [37].

Wysoka czułość czujnika opartego o DMS skłoniła do rozpoczęcia prac nad zastosowaniem czujnika w diagnostyce medycznej, np. do wykrywania chorób płuc, nerek oraz cukrzycy [38].

Podsumowanie

Skażenia niebezpiecznymi środkami chemicznymi stanowią poważne zagrożenia dla środowiska naturalnego oraz dla zdrowia i życia ludzi. Działania polegające na zminimalizowa-

of such incidents require their prompt detection and identification. In the event of a chemical contamination threat, in addition to having highly sensitive equipment, it is vital to provide the fastest contamination response possible. Detectors based on the IMS technique for contamination reconnaissance and identification are likely to materially increase the operational efficiency of both the systems of contamination detection utilised by the Military Forces of the Republic of Poland and other sub-systems forming part of the Polish National System of Contamination Detection and Alerting. Such detectors can be mounted in fire engines, serving the purpose of direct threat identification. They can also be used as elements of contamination monitoring systems operated by crisis management teams. Detectors based on IMS (DMS) facilitate prompt detection of a wide range of threats with high sensitivity and much better selectivity. They can also be installed in fire engines and unmanned direct threat identification platforms, or form part of contamination monitoring systems operated by crisis management teams.

Conclusions

1. Contamination threats in the territory of the Republic of Poland are on an upward trend. The entities included in the National System of Contamination Detection and Alerting should be prepared, in both technical and procedural terms, for conducting reconnaissance and initial identification of contaminants at the place of their occurrence.
2. The system is equipped with IMS devices. According to global trends, these devices should be successively replaced with solutions providing better sensitivity and selectivity. New devices could be based on differential mobility spectrometry. This solution should apply to portable and transportable instruments.
3. The application of new technical solutions should be accompanied by the unification of the system in the area of contamination reconnaissance and the creation of cooperation plans, which would have a significant impact on the safety of people and infrastructure.

List of abbreviations

KCWA	– chemical weapon agent (G-paralysing-convulsive; H-necrotising): tabun (GA), sarin (GB), soman (GD), sulphur yperite (H), lewisite (L)
CBRN	– chemical, biological, radiological and nuclear
DMS	– differential ion mobility spectrometry
ECD	– electron capture detector
FAIMS	– field asymmetric ion mobility spectrometry
KSWSiA	– National System of Contamination Detection and Alerting
IMS	– ion mobility spectrometry
⁶³ Ni	– nickel isotope

niu skutków tych skażeń polegają na ich szybkim wykryciu i zidentyfikowaniu. W sytuacji wystąpienia zagrożenia skażeniami chemicznymi, obok bardzo wysokiej czułości sprzętu, wymagana jest również najwyższa szybkość reakcji na skażenia. Wykorzystanie detektorów opartych o technikę IMS do rozpoznania i identyfikacji skażeń w znacznym stopniu zwiększy efektywność działania nie tylko SWS SZ RP, ale także innych podsystemów KSWSiA. Detektory mogą być zastosowane w wozach straży pożarnej do identyfikacji bezpośrednich zagrożeń, mogą również być zastosowane jako element dla systemów monitoringu skażeń grup zarządzania kryzysowego. Detektory IMS (DMS) mogą zapewnić możliwość szybkiego wykrywania szerokiej gamy zagrożeń z dużą czułością i znacznie większą selektywnością oraz możliwość montowania w wozach straży pożarnej lub na bezzałogowych platformach do identyfikacji bezpośrednich zagrożeń, mogą również być zastosowane jako element dla systemów monitoringu skażeń grup zarządzania kryzysowego.

Wnioski

1. Zagrożenia skażeniami terytorium RP mają tendencję zwyżkową. Podmioty wchodzące w skład Krajowego Systemu Wykrywania Skażeń i Alarmowania powinny być przygotowane, pod względem technicznym i proceduralnym, na prowadzenie rozpoznania i wstępnej identyfikacji skażeń w miejscu ich występowania.
2. System wyposażony jest w urządzenia wykorzystujące spektrometrię IMS. Zgodnie z trendami światowymi, urządzenia te powinny być sukcesywnie zastępowane rozwiązaniami cechującymi się lepszą czułością i selektywnością. Takimi urządzeniami mogłyby być przyrządy oparte o spektrometrię DMS. Dotyczy to przyrządów przenośnych i przewoźnych.
3. Wprowadzeniu nowych rozwiązań technicznych powinno towarzyszyć ujednoczenie systemu w zakresie rozpoznania skażeń, stworzenie planów współdziałania, a to miałyby istotny wpływ na bezpieczeństwo ludzi i infrastruktury.

Wykaz skrótów

BST	– bojowe środki trujące (G – paralityczno-drgawkowe; H-nekrozujące): tabun (GA), sarin (GB), soman (GD), iperyt siarkowy (H), lizyzt (L)
CBRN	– chemiczna, biologiczna, radiologiczna i nuklearna
DMS	– różnicowa spektrometria ruchliwości jonów
ECD	– detektor wychwytu elektronów
FAIMS	– asymetryczna spektrometria ruchliwości jonów w terenie
KSWSiA	– Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania

NATO	– North Atlantic Treaty Organization	IMS	– spektrometria ruchliwości jonów
TLV	– threshold limit value	⁶³ Ni	– izotop niklu
NMR	– nuclear magnetic resonance	NATO	– Organizacja Traktatu Północnoatlantyckiego
SFB	– State Fire Brigade	NDS	– najwyższe dopuszczalne stężenie
MF RP	– Military Forces of the Republic of Poland	NMR	– spektroskopia magnetycznego rezonansu jądrowego
TNT	– 2,4,6-trinitrotoluene (trotyl)	PSP	– Państwa Straż Pożarna
TIC	– toxic industrial chemical	SZ RP	– Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polskiej
WICHiR	– Military Institute of Chemistry and Radiometry	TNT	– 2,4,6 trinitrotoluen (trotyl)
VOCs	– volatile organic compounds	TSP	– toksyczne środki przemysłowe
		WICHiR	– Wojskowy Instytut Chemii i Radiometrii
		VOCs	– lotne związki organiczne

Literature / Literatura

- [1] Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych. DD/3.8(A), Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych, Sygn. Szkol. 869/2013, Bydgoszcz 2013.
- [2] Starostin L., Witkiewicz Z., Neffe S., *Analiza Środków Trujących: współczesne wojskowe metody i środki detekcji i rozpoznania skażeń chemicznych*, WAT, Warszawa 1995.
- [3] Cygański A., *Metody spektroskopowe w chemii analitycznej*, wyd. 4 rozszerzone, WNT, Warszawa 2009.
- [4] Mäkinen M. A., Anttalainen O. A., Sillanpää M. E. T., *Ion Mobility Spectrometry and Its Applications in Detection of Chemical Warfare Agents*, „Analytical Chemistry” 2010, 82, 23, 9594–9600, <https://doi.org/10.1021/ac100931n>.
- [5] Kanu A. B., Hill H. H. Jr, Gribb M. M., Walters., R. N., *A small subsurface ion mobility spectrometer sensor for detecting environmental soil-gas contaminants*, „Journal of Environmental Monitoring” 2007, 9, 51–60, <https://doi.org/10.1039/B610493B>.
- [6] Keller T., Schneider A., Tutsch-Bauer E., Jaspers J., Aderjan R., Skopp G., *Ion Mobility Spectrometry for the Detection of Drugs in Cases of Forensic and Criminalistic Relevance*, „International Society for Ion Mobility Spectrometry” 1999, 22–34.
- [7] Ewing R. G., Atkinson D. A., Eiceman G. A., Ewing G. J., *A critical review of ion mobility spectrometry for the detection of explosives and explosive related compounds*, „Talanta” 2001, 54, 515–529, [https://doi.org/10.1016/S0039-9140\(00\)00565-8](https://doi.org/10.1016/S0039-9140(00)00565-8).
- [8] Puton J., *Procesy jonizacji analitu i transportu jonów w spektrometrii ruchliwości jonów*, <http://chem.pg.edu.pl/documents/>, [dostęp: 03.2019].
- [9] Skowron M., Grabowska-Polanowska B., Faber J., Śliwka I., *Zarys metod analitycznych w badaniach oddechu dla celów diagnostyki medycznej*, Kraków 2012, 91–97.
- [10] Maziejuk M., Harmata W., *Spektrometr ruchliwości jonów, jako element do wykrywania wysokotoksycznych substancji chemicznych*, „Przemysł Chemiczny” 2006, 85/7, 1–5.
- [11] Fliszkiewicz B., *Badania zależności kalibracyjnych dla różnicowego detektora IMS*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2015.
- [12] Eiceman G. A., Karpas Z., *Ion Mobility Spectrometry*, Boca Raton 2005, <https://doi.org/10.1201/9781420038972>.
- [13] Maziejuk M., *Różnicowa spektrometria ruchliwości jonów*, WAT, Warszawa 2012.
- [14] Sferopoulos R., *A Review of Chemical Warfare Agent (CWA) Detector Technologies and Commercial-Off-The-Shelf Items*, Australian Government, Department of Defence, Australia 2009.
- [15] Longworth T. L., Ong K. Y., *Domestic preparedness program: testing of the cam-chemical agent monitor (type I) against chemical warfare agents. Summary report*, Maryland 2001.
- [16] https://www.bruker.com/products/mr.html?gclid=E-AIaIQobChMlusP0r5f14AIV20WaCh3TngYREAAAYASA-AEgJScvD_BwE, [dostęp: 03.2019].
- [17] Baranoski J. M., Longworth T. L., *Domestic preparedness program evaluation of the raid-m (bruker saxonian analytik gmbh rapid alarm and identification device – monitor) against chemical warfare agents. Summary report*, 2003, <https://doi.org/10.21236/ADA430799>.
- [18] Operator’s manual Improved Chemical Agent Monitor (ICAM), Headquarters Department of the Army 1998.

- [19] <https://www.bruker.com/products/cbrne-detection/ims/raid-m-100/overview.html>, [dostęp: 03.2019].
- [20] Instrukcja obsługi. Sygnalizator skażeń chemicznych i promieniotwórczych „CHERDES II” Pimco, Warszawa 2009.
- [21] <http://www.pimco.pl/en/products/gid-3-chemical-agent-detector/>, [dostęp: 03.2019].
- [22] Eiceman G.A., Karpas Z., Hill H. H. Jr., *Ion Mobility Spectrometry*, CRC Press, Boca Raton FL 1993.
- [23] Eiceman G.A., Krylov E.V., Krylova N.S., *Separation of Ions from Explosives in Differential Mobility Spectrometry by Vapor-Modified Drift Gas*, „Analytical Chemistry” 2004, 76, 17, 4937–4944, <https://doi.org/10.1021/ac035502k>.
- [24] Eiceman G.A., Karpas Z., Hill H. H., *Ion Mobility Spectrometry, Third Edition*, CRC Press, Boca Raton FL 2013, <https://doi.org/10.1201/b16109>.
- [25] Szczurek M., *Nowoczesne metody wykrywania materiałów wybuchowych w służbie bezpieczeństwa publicznego*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, BiTP Vol. 39 Issue 3, 2015, pp. 149–159.
- [26] <http://www.pimco.pl/products/stacjonarny-wykrywacz-materialow-wybuchowych-ionscan-500dt/>, [dostęp: 03.2019].
- [27] Szczurek M., *Wykrywanie materiałów wybuchowych przy użyciu spektrometrii ruchliwości jonów*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2013, 30–36.
- [28] Mierczyk Z., Ostrowski R. (red.), *Ochrona przed skutkami nadzwyczajnych zagrożeń*, Praca zbiorowa, tom 2, WAT, Warszawa 2001.
- [29] Maziejuk M., *Różnicowa spektrometria ruchliwości jonów*, WAT, Warszawa 2012.
- [30] Maziejuk M., Lisowski W., Szyposzyńska M., Sikora T., Zalewska A., *Differential ion mobility spectrometry in application to the analysis of gases and vapors*, „Solid State Phenomena” 2015, Vol. 223, 283–290, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/SSP223.283>.
- [31] Tam M., Dutta P., Hill H. H. Jr., *Miniaturized Ion Mobility Spectrometry*, w: *Encyclopedia of Microfluidics and Nanofluidics*, Springer, Boston 2008, 1368–1376, https://doi.org/10.1007/978-0-387-48998-8_1034.
- [32] Pliszka M., *Badania możliwości wykrywania i analizy par acetonu za pomocą detektora DMS*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2015.
- [33] Jakubowski M., *Badanie fragmentacji cząsteczek wybranych alkoholi w komorze różnicowego spektrometru ruchliwości jonów*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2016.
- [34] Jakubowska M., Maziejuk M., Ceremuga M., Siczek J., Gallewicz W., *Ceramic DMS – type detector*, „International Journal of Ion Mobility Spectrometry” 2012, <https://doi.org/10.1007/s12127-012-0093-1>.
- [35] Sikora T., Maziejuk M., Ceremuga M., Buczkowska A., *Technologie mobilne w polowej identyfikacji zagrożeń biologicznych*, w: *Mobilne laboratorium do poboru próbek środowiskowych i identyfikacyjnych zagrożeń biologicznych* J. Kocik, J. Dziuban, A. Górecka (red.), Politechnika Krakowska, Kraków 2014.
- [36] Hofman M., *Badanie wpływu dopantów na wykrywanie 2,4,6-trinitrotoluenu (TNT) za pomocą różnicowego spektrometru ruchliwości jonów*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2016.
- [37] Skowron M., Grabowska-Polanowska B., Faber J., Śliwka I., *Zarys metod analitycznych w badaniach oddechu dla celów diagnostyki medycznej*, Kraków 2012.
- [38] Ceremuga M., Harmata W., Wertek K., Wiktoro M., *Oznaczanie acetonu w wydychanym powietrzu za pomocą różnicowej spektrometrii ruchliwości jonów*, „Przemysł Chemiczny” 2016, 95/1, 93–97, <https://doi.org/10.15199/62.2016.1.15>.

WŁADYSŁAW HARMATA, ASSOCIATE PROFESSOR, D.SC. ENG.

– in 1978 graduated from the Faculty of Chemistry and Technical Physics at the Military University of Technology (MUT) in Warsaw. He is currently holding the position of professor at the Faculty of Advanced Technologies and Chemistry, MUT (specialisation – ecology, threat elimination, protection against contaminants). He has co-authored nine domestic patents and twenty implementations of new studies for the Military Forces of the Republic of Poland (whose results have been published in some 340 original scientific studies). He has also authored seven monographs and academic course books.

DR HAB. INŻ. WŁADYSŁAW HARMATA – w 1978 roku ukończył studia na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Pracuje na stanowisku profesora na Wydziale Nowych Technologii i Chemii tej uczelni (specjalność – ekologia, likwidacja skażeń, ochrona przed skażeniami). Jest współautorem 9 patentów krajowych oraz 20 wdrożeń nowych opracowań do Sił Zbrojnych Rzeczypospolitej Polskiej (wyniki badań zostały opublikowane w około 340 oryginalnych pracach naukowych), a także autorem 7 monografii i podręczników akademickich.



CNBOP-PIB

TWÓJ PARTNER W
BEZPIECZENSTWIE

SZKOLENIA SPECJALISTYCZNE

Ponad 20 lat doświadczenia
na rynku usług szkoleniowych
z zakresu ochrony przeciwpożarowej,
zarządzania kryzysowego oraz ochrony ludności



Szkolenia dla projektantów, instalatorów i konserwatorów

- ✓ Systemy sygnalizacji pożarowej
- ✓ Systemy wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych
- ✓ Hydranty zewnętrzne i wewnętrzne
- ✓ Podręczny sprzęt gaśniczy
- ✓ Oświetlenie awaryjne
- ✓ Projektowanie systemów różnicowania ciśnienia w budynkach wielokondygnacyjnych

Szkolenie dla rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych

Dyrektywa ATEX

Ocena ryzyka związanego z możliwością wystąpienia atmosfer wybuchowych – podejście praktyczne

- ✓ Stałe urządzenia gaśnicze gazowe w ochronie przeciwpożarowej
- ✓ Stałe urządzenia tryskaczowe w ochronie przeciwpożarowej
- ✓ Dobór, montaż, przegląd i konserwacja drzwi i innych zamknięć przeciwpożarowych
- ✓ Szkolenie: Analiza numeryczna w wentylacji pożarowej

PEŁNA OFERTA I ZAPISY NA WWW.CNBOP.PL

Henryk Jafernika)*

^{a)} Polish Air Force University / Instytut Nawigacji, Lotnicza Akademia Wojskowa

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: henrykj21@interia.pl

The Safety of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Missions in Storm and Precipitation Areas

Bezpieczeństwo lotów bezzałogowych statków powietrznych (BSP) w obszarach występowania opadów atmosferycznych i burz

ABSTRACT

Objective: The aim of the article is to present the state of the art on threats to UAVs posed by sudden changes of weather conditions, involving in particular storms and hail. Identifying such threats is likely to facilitate the development of hardware and software solutions aimed at improving the safety of the UAV missions.

Introduction: Severe weather phenomena strongly affect the safety of unmanned aerial vehicle (UAV) missions. The article describes in detail the implementation concept of atmospheric discharge and precipitation images using wireless Internet connections for an exemplary mobile application for multi-rotor flight control. The concept was developed to reduce risks associated with flights in storm and precipitation areas, and to maximise the performance of electric multi-rotor UAVs with a maximum take-off mass of no more than 25 kg. This is dealt with in the introductory section and in three substantive sections. UAV capabilities are discussed in the first section, while the second one analyses specific weather conditions which merit particular attention when constructing new UAVs, and the third one outlines some of the solutions employed in UAV steering systems control apps. A number of concluding remarks are presented in the end.

Conclusions: The analysis of usefulness has proven electric UAVs suitability for professional missions. However, these vehicles display a number of limitations, one of the most important being their high sensitivity to weather conditions. With no hermetically sealed hatch, on-board equipment is exposed to penetrating damp caused by various types of precipitation, including drizzle, rain and snow. These can cause a short-circuit and equipment damage, while hailstones can result in UAV mechanical damage. Severe turbulences and strong ascending or descending air currents, which are likely to occur during low-altitude flights, pose a threat of UAV's collision with overground objects. Using more resistant composite materials in the construction of hermetic UAVs could increase the application range of these vehicles. The wide range of possible uses of UAVs encourages further investigations aimed at ensuring their best possible working conditions.

Keywords: weather radar, atmospheric discharge, precipitation, UAV

Type of article: review article

Received: 10.06.2019; Reviewed: 21.08.2019; Accepted: 30.12.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0001-5745-698X;

Please cite as: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 194–204, <https://doi.org/10.12845/sft.53.2.2019.15>;

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 stanu wiedzy o zagrożeniach dla BSP, jakie niosą ze sobą gwałtowne zmiany warunków atmosferycznych, przede wszystkim takie jak burze czy grad. Identyfikacja tych zagrożeń może pomóc w wypracowaniu rozwiązań hardware'owych i software'owych mających na celu poprawę bezpieczeństwa realizacji zadań przez BSP.

Wprowadzenie: Gwałtowne zjawiska meteorologiczne mają zasadniczy wpływ na bezpieczne wykonywanie zadań przez BSP. W artykule przedstawiono szczegółowo koncepcję implementacji zobrażeń wyładowań oraz opadów atmosferycznych przy użyciu bezprzewodowego łącza internetowego do przykładowej mobilnej aplikacji kontrolującej lot wielowirnikowca. Koncepcja powstała w celu ograniczenia ryzyka związanego z wykonywaniem lotu w obszarach występowania burz i opadów atmosferycznych, a także w celu maksymalizacji funkcjonalności wielowirnikowych bezzałogowych statków powietrznych (BSP) o napędzie elektrycznym i masie startowej nieprzekraczającej 25 kilogramów. Treści te zawarto we wstępie i trzech rozdziałach merytorycznych. W pierwszej części artykułu omówiono możliwości BSP. Rozdział drugi to analiza szczególnych warunków atmosferycznych, na które należy zwrócić uwagę przy konstrukcji nowych BSP. W ostatniej części artykułu zwrócono uwagę na niektóre rozwiązania aplikacji pozwalających kontrolować systemy sterowania BSP. Całość artykułu podsumowano wnioskami.

Wnioski: Analiza przydatności elektrycznych BSP wykazała ich użyteczność do działań profesjonalnych. Posiadają one jednak szereg ograniczeń. Jednym z istotniejszych jest znaczna wrażliwość na warunki meteorologiczne. Brak hermetycznego luku technicznego naraża urządzenia pokładowe na penetrację wilgocią spowodowaną opadem mżawki, deszczu, śniegu, a w konsekwencji zwarcie elektryczne i zniszczenie urządzeń. Ponadto opady gradu mogą powodować uszkodzenia mechaniczne BSP. Występowanie silnej turbulencji, silnych prądów wstępujących/zstępujących w lotach na małych wysokościach stanowią niebezpieczeństwo kolizji z obiektami naziemnymi. Budowa hermetycznych BSP z bardziej wytrzymałych materiałów kompozytowych może poszerzyć zastosowanie tego typu produktów. Szerokie możliwości wykorzystania BSP skłaniają do dalszych badań nad zapewnieniem jak najlepszych warunków pracy tych urządzeń.

Słowa kluczowe: radar meteorologiczny, wyładowania atmosferyczne, opad atmosferyczny, BSP

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 10.06.2019; **Zrecenzowany:** 21.08.2019; **Zatwierdzony:** 30.12.2019;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0001-5745-698X;

Proszę cytować: SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 194–204, <https://doi.org/10.12845/sft.53.2.2019.15>;

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

Introductory remarks

The article describes the concept of using data obtained, in particular, from foreign discharge detection systems (Blitzortung) and from the Polish weather radar network (POLRAD) in the planning and organisation of electric multi-rotor unmanned aerial vehicle (UAV) flights with a maximum take-off mass of no more than 25 kg. Such online data images could be easily used to that end. The article further outlines the impacts of selected weather factors, such as rain, storms, hail and strong ascending or descending air currents, on the use of electric UAVs.

Wstęp

W artykule przedstawiono koncepcję wykorzystania w planowaniu oraz wykonywaniu lotów bezzałogowymi wielowirnikowcami z napędem elektrycznym o masie startowej do 25 kg danych pochodzących (przede wszystkim) z zagranicznych systemów detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung, a także z sieci polskich radarów meteorologicznych POLRAD. Dostępne w Internecie zobrazowania tych danych mogą być w prosty sposób zastosowane w planowaniu oraz realizacji lotów bezzałogowymi statkami powietrznymi (BSP). W pracy opisano również wpływ wybranych czynników meteorologicznych, takich jak deszcz, burze, grad, silne prądy wstępujące i zstępujące, na eksploatację BSP o napędzie elektrycznym.

Examples of electric UAVs suitable for professional use

UAVs have been used, *inter alia*, for protecting PKP Cargo trains. A special task force which makes use, *inter alia*, of quadcopters, i.e. four-rotor drones (Figure 1), has been operative all over the country. Its duties are performed in cooperation with the police, rail protection guards and even prison services.

Przykładowe BSP o napędzie elektrycznym do zastosowań profesjonalnych

BSP znalazły zastosowanie m.in. w ochronie składów kolejowych przewoźnika PKP Cargo. Na terenie całego kraju działa specjalna grupa operacyjna, która wykorzystuje m.in. quadcoptery, czyli drony o czterech wirnikach (ryc. 1). Swoje zadania realizuje we współpracy ze służbami, takimi jak Policja, Straż Ochrony Kolei, a nawet Służba Więzienna.



Figure 1. A UAV patrolling PKP Cargo trains

Rycina 1. Przykład BSP patrolującego składy kolejowe spółki PKP Cargo

Source/Źródło: http://static.antyweb.pl/uploads/2015/12/150827PKPCargoDron_040-1280x720.jpg/ [6]

In 2018, PKP Cargo Group carried 119.1 million tonnes of cargo, its transport performance reaching 31.0 billion tkm. The share of Silesia in the total transport performance on the Polish market reached 51.6% [16], and this was the region from which most of the national and international cargo trains departed. For that reason, a decision was made to use UAVs to monitor PKP Cargo trains in Silesia, and the initial success encouraged PKP Cargo Group to use aerial platforms all over the country. In order to control crime, a decision was also made to intensify preventive measures. At present, mainly UAVs equipped with 4K cameras are used to monitor railway routes, and drones featuring thermal-imaging cameras are deployed for night patrols. They can survey the area within a few-kilometre distance from the operator. UAVs are capable of recording images close to the trains and transmit them in real time to the task force's headquarters, facilitating the collection of evidence to help the police identify potential thieves. Once they take off, the vehicles are hardly audible, and given their size and colour, they are almost invisible as well. These qualities significantly increase their efficiency. UAVs can also be operated in adverse weather conditions, including fog and smog [4], enabling detection of human presence from a distance of more than 1 km. This function has proven useful in identifying groups of thieves on many occasions, allowing prompt responses by, and good cooperation between, competent services, and usually resulting in perpetrators being arrested. Such operations have been conducted since 2014 with much success [13].

Electric UAVs with a maximum take-off mass of no more than 25 kg have also been used to measure air quality in selected cities. This involves, in particular, collecting data on entities violating restrictions on burning certain materials and substances, and on the emission of certain harmful pollutants. Such a solution is used, for instance, by the City Guard in Katowice, in collaboration with the Katowice City Office, the Institute for Chemical Processing of Coal and the technical support provider. They deploy a hexacopter (a six-rotor UAV) for preventive purposes. The device has been modified to move the measuring device to different locations to collect air samples and assess their chemical composition. Once it reaches the target spot, it records and measures the level of harmful substances in smoke.

The hexacopter is capable of scanning large urban areas, alerting the operator about the probable use of banned fuels. Along with detecting substances generated through the combustion of the most common fuels, the device also allows measurement of ethanol, ammonia, formaldehyde, hydrogen chloride, as well as PM1, PM2,5 and PM10 content in air samples. Based on the air pollution data thus obtained, the operator decides on sending a patrol to the pollution area in order to conduct routine inspections and verify environmental pollution reports, without the need to involve wardens [10], [13]. UAVs can be operated from a several-kilometre distance.

The model used by PKP Cargo is a four-rotor UAV with four electric engines effectively powering biplane propellers. Its maximum take-off mass is 1.22 kg. The UAV can move at a maximum altitude of 6 km, with a maximum speed of 16 m/s (approx. 58 km/h), with the wind speed close to 0 m/s. Such parameters, together with

W roku 2018 Grupa PKP CARGO przewiozła 119,1 mln ton towarów oraz wykonała pracę przewozową na poziomie 31,0 mld tkm. Jednocześnie udział Śląska pod względem wykonanej pracy przewozowej na rynku w Polsce wyniósł 51,6% [16]. To właśnie z tego województwa wyruszała większość przewozów krajowych i międzynarodowych. Dlatego też do kontroli składów pociągów przewoźnika PKP Cargo postanowiono wykorzystywać tam BSP. Sukces grupy operacyjnej PKP Cargo wykorzystującej BSP na Śląsku spowodował, że spółka zaczęła stosować platformy latające na terenie całej Polski. Aby ograniczyć skalę przestępstw, została podjęta decyzja o zintensyfikowaniu działań prewencyjnych. Do monitorowania szlaków kolejowych wykorzystywane są przede wszystkim BSP wyposażone w kamerę 4K, a do nocnego patrolowania torów także drony z kamerą termowizyjną. Odlatują one od operatora na odległość kilku kilometrów. Bezzałogowe statki powietrzne rejestrują obraz w pobliżu składów i przesyłają go w czasie rzeczywistym do siedziby zespołu operacyjnego, co pozwala na skuteczne zdobycie materiału dowodowego, dzięki któremu np. Policja identyfikuje sprawców kradzieży. W powietrzu maszyny są praktycznie niesłyszalne, a z uwagi na niewielkie rozmiary i kolorystykę stają się prawie niewidoczne. Te aspekty zdecydowanie zwiększają ich skuteczność. BSP mogą być także wykorzystywane podczas niesprzyjających warunków atmosferycznych spowodowanych wystąpieniem mgieł lub smogu [4]. Możliwe jest wtedy wykrycie człowieka z odległości ponad kilometra. Funkcjonalność ta sprawdza się niejednokrotnie przy ujawnianiu grup złodziei. Dzięki szybkiej reakcji oraz dobrej współpracy pomiędzy służbami, zwykle udaje się sprawnie ująć sprawców. Tego typu działania prowadzone są od 2014 roku [13].

Kolejnym zastosowaniem bezzałogowych wielowirnikowców o napędzie elektrycznym i masie startowej do 25 kg jest badanie jakości powietrza w wybranych miastach. Mowa tutaj przede wszystkim o zebraniu danych o podmiotach łamiących zakazy dotyczące spalania materiałów i substancji oraz emisji szkodliwych zanieczyszczeń. Jednym z użytkowników stosujących w tym celu bezzałogowe wielowirnikowce jest Straż Miejska w Katowicach, działająca wraz z Urzędem Miasta Katowice, Instytutem Chemicznej Przeróbki Węgla oraz firmą odpowiadającą za technologiczne zaplecze projektu. Do działań prewencyjnych wykorzystywany jest heksacopter (BSP posiadający 6 wirników) [7]. Został on zmodyfikowany w ten sposób, aby przenosić urządzenie pomiarowe do pobierania oraz badania składu chemicznego powietrza. Dolatuje on w dowolnie wybrane miejsce, wykonuje zawis oraz pomiar szkodliwych substancji w dymie

Heksacopter skanuje znaczne obszary miasta, informując operatora o prawdopodobnym wykorzystaniu niedozwolonego paliwa. Zastosowana aparatura poza wykryciem substancji pochodzących z najczęściej spalanych odpadów pozwala na analizę zawartości w badanym powietrzu etanolu, amoniaku, formaldehydu, chlorku wodoru oraz pyłów PM1, PM2,5, PM10. Następnie dyspozytor – dysponując informacją o zanieczyszczeniu powietrza – podejmuje decyzję o wysłaniu funkcjonariuszy w rejon zanieczyszczeń bez konieczności przeprowadzania rutynowych kontroli oraz weryfikacji zgłoszeń o zanieczyszczeniu środowiska z udziałem strażników [10], [13]. Operator BSP ma możliwość sterowania dronem z odległości kilku kilometrów.

an S4 lithium polymer (LiPo) battery with a capacity of 4,480 mAh, allow the flight to continue for up to 25 minutes. The vehicle has automatic, operatorless take-off and landing functions. Using distance detectors, the UAV scans the area below and around it, and automatically determines whether it is safe to land on. That mode can be turned on using the flight control app, whereas automatic landing is activated independently from the operator once the battery is critically low. The air temperature suitable for UAV operation ranges from -10°C to $+40^{\circ}\text{C}$, and position control is possible only via the Global Positioning System (GPS), as the model in question does not feature an efficiently-operating Global Navigation Satellite Systems (GLONASS). Stability and real-time image transmission are possible thanks to a 12-megapixel camera suspended on a 3-axis Gimbal stabiliser, enabling 27 K-resolution recordings.

The City Guard in Katowice use a different UAV model. It is also an electric multi-rotor aerial vehicle, but its maximum take-off mass is 15.1 kg (9.1 kg without GPS suspensions). This applies to a GPS equipped with standard TB47S LiPo batteries (six batteries mounted on the frame), each offering a capacity of 4500 mAh. With the robust air quality measurement apparatus suspended, the maximum UAV flight duration is around 26 min. When TB48S LiPo batteries are used instead, offering a much higher capacity (5700 mAh), the UAV mass reaches 9.6 kg, and its maximum flight duration with an additional apparatus is extended to nearly 30 min. The vehicle has six actively cooled dust-resistant electric engines and six biplane propellers, allowing it to reach a maximum speed of 18 m/s (approx. 65 km/h) with the wind speed close to 0 m/s, and a maximum altitude of 2,500 m. The air temperature suitable for UAV operation ranges from -10°C to $+40^{\circ}\text{C}$, and position control is possible via the GPS. The vehicle's landing skids can be raised and lowered manually. The nominal operating radius of the UAV steering systems used for flight control in the described models is 500 and 3,500, respectively [8].

The operating radius can be further increased. Using the directional antenna Tracker FPV to follow the GPS signal [9] in a relatively open area allows for the radius in a given direction to be quite easily extended to 8 km [1], [14].

In both models under analysis, the GPS operates in frequency bands 5.725 – 5.825 GHz, and can cooperate with a tablet or a smartphone when placed in a special holder. This enables a remote UAV flight control, using a dedicated app operated through these mobile devices. The current app version, via its main screen (Figure 2), makes it possible to simultaneously view the images sent by the camera mounted on the UAV and the map (the bottom-left corner of the screen), with an arrow indicating the spatial positioning of the controlled UAV.

The two views can be enlarged interchangeably, but one of them, in the bottom-left corner of the screen, will always be downsized. The visualised map scale can be adjusted to mission-specific requirements. In addition, the map can be blocked in the northern direction, or aligned with the flight direction of the UAV, whose position can also be centred and blocked. The route already covered is also displayed on the map. Information displayed at the top includes the GPS range and satellite number, the control apparatus range, the remaining battery-based flight time and the battery level, the range of video transmission, and

Model wykorzystywany np. przez spółkę PKP Cargo to cztero-wirnikowy BSP napędzany czterema silnikami elektrycznymi, które umożliwiają skuteczny napęd przy pomocy śmigieł dwułopatowych. Dopuszczalna masa startowa modelu to 1,22 kg. Może on poruszać się na wysokości maksymalnej równej 6 km z prędkością 16 m/s (blisko 58 km/h) przy prędkości wiatru zbliżonej do wartości 0 m/s. Takie parametry wraz z baterią litowo-polimerową (LiPo) 4S o pojemności 4480 mAh pozwalają na lot do 25 minut. BSP posiada funkcję automatycznego startu i lądowania bez kontroli operatora. Na podstawie czujników odległości skanuje teren pod sobą i dookoła siebie, by stwierdzić czy jest on odpowiedni do lądowania. Tryb ten można włączyć z pozycji aplikacji kontrolującej lot, a automatyczne lądowanie aktywuje się niezależnie od działań operatora w momencie osiągnięcia przez baterię krytycznego poziomu naładowania. Temperatura powietrza, w której może pracować, wynosi od -10°C do $+40^{\circ}\text{C}$. Kontrola nad jego pozycją jest możliwa wyłącznie przez system GPS (ang. Global Positioning System), gdyż model ten nie posiada wydajnego systemu GLONASS (ang. Global Navigation Satellite Systems). Kamera podwieszona na trzyosiowym stabilizatorze (gimbalu) pozwala na skuteczną stabilizację i przesyłanie obrazu w czasie rzeczywistym. Ma ona rozdzielczość 12 megapikseli, co umożliwia nagrywanie filmów w rozdzielczości 27 K.

Inny analizowany produkt wykorzystywany jest w służbie Straży Miejskiej w Katowicach. Jest on również wielowirnikowcem o napędzie elektrycznym, jednak jego dopuszczalna masa startowa to aż 15,1 kg (masa nieobciążonego podwieszeniami GPS równa się 9,1 kg). Masa ta dotyczy GPS ze standardowymi akumulatorami LiPo TB47S (sześć sztuk zamontowanych na ramie), z których każdy posiada pojemność 4500 mAh. Przy podwieszeniu masywnej aparatury służącej do pomiaru jakości powietrza, długość lotu BSP wynosi około 26 minut. Przy zastosowaniu akumulatorów LiPo TB48S o znacznie wyższej pojemności (5700 mAh) masa modelu rośnie do 9,6 kg, a maksymalny czas lotu z dodatkową aparaturą wydłuża się do blisko 30 minut. Maszyna posiada sześć aktywnie chłodzonych i pyłoodpornych silników elektrycznych oraz sześć dwułopatowych śmigieł. Daje to możliwość rozwinięcia maksymalnej prędkości równej 18 m/s (około 65 km/h) przy prędkości wiatru zbliżonej do 0 m/s oraz osiągnięcie maksymalnego pułapu lotu 2500 m. Kontrola jego pozycji odbywa się za pomocą systemu GPS, a temperatura otoczenia, w której pracuje, musi oscylować w zakresie -10°C do $+40^{\circ}\text{C}$. Jego płoży podwozowe są podnoszone i opuszczane ręcznie. Systemy sterowania służące do kontroli lotu analizowanych modeli posiadają nominalny zasięg działania odpowiednio 500 i 3500 m [8].

Zasięg działania systemu sterowania może zostać jednak zwiększony. Zastosowanie kierunkowej anteny do śledzenia sygnału GPS typu Tracker FPV [9] we względnie otwartym terenie pozwala na przyrost zasięgu na danym kierunku bez większych problemów maksymalnie do 8 km [1], [14].

W obu porównywanych modelach systemy sterowania GPS działają w zakresie częstotliwości 5,725–5,825 GHz. Posiadają one możliwość współpracy z tabletem lub smartfonem zamocowanym na specjalnym uchwycie. Umożliwia to zdalną kontrolę lotu każdego z opisywanych BSP poza zasięgiem wzroku przy pomocy dedykowanej aplikacji obsługiwanej na wspomnianych urządzeniach mobilnych. Obecna wersja aplikacji w głównym widoku

the multi-rotor working mode (GPS, ATTI) which can be activated using the icon on the left side of the screen.

ekranu (ryc. 2) pozwala przede wszystkim na jednoczesny widok z kamery zamontowanej na bezzałogowym statku powietrznym oraz widok mapy (dolny lewy róg aplikacji), na której znajdujemy znacznik odpowiadający pozycji pilotowanego BSP w przestrzeni.



Figure 2. The main screen of the UAV operation app (an example)

Rycina 2. Przykładowy ekran główny aplikacji do obsługi BSP

Source/ Źródło: https://phantompilots.com/attachments/img_0110-png.69432/

Automatic take-off or landing mode icons are also displayed there, depending on whether the UAV is airborne or on the ground, along with the Return-to-Home (RTH) mode which makes the vehicle return from any point in space to an automatically memorised take-off point. At the bottom of the screen, basic pilotage information is displayed, including forward speed, vertical speed and flight altitude. Extensive descriptions of camera functions, including basic photographic and video-recording settings, can be found on the right, together with fast-recording and image-stabilisation settings. The app, thanks to an embedded planner, also offers a possibility to plan the UAV flight along as many as several dozen predefined points, which should be set at relatively even distances from one another. In addition, the app features a range of setting options – from the most basic to the most advanced ones. Such complex settings (Figures 3 and 4) enable extensive personalisation and optimisation of the UAV, its flight, cameras, maps and the app itself, making its use highly efficient.

Każdy z widoków można naprzemiennie powiększać, jednak zawsze jeden z nich będzie w postaci zmniejszonej w lewym dolnym rogu ekranu. Wizualizowana skala mapy może być ustawiana w zależności od wymogów misji. Mapę można zablokować względem północy lub może być ona zorientowana zgodnie z kierunkiem lotu BSP, którego pozycja może być również wycentrowana i zablokowana. Na mapie wyświetlana jest także linia przebytej drogi. W górnej części głównego ekranu znajduje się szereg informacji np. o zasięgu GPS i liczbie satelitów, zasięgu aparatury sterującej, pozostałym czasie lotu na baterii i procencie jej naładowania, zasięgu transmisji video i trybie pracy wielowirnikowca (GPS, ATTI), który może być wybrany przy pomocy ikony po lewej stronie ekranu. W tym miejscu znajdują się także ikony trybu automatycznego startu lub lądowania, w zależności od tego czy BSP jest w powietrzu, czy na ziemi oraz trybu „powrotu do domu” RTH (ang. *Return-to-Home*) czyli samoczynnego lotu z dowolnego miejsca w przestrzeni do automatycznie zapamiętanego miejsca startu). Dolna część ekranu prezentuje podstawowe informacje pilotażowe, takie jak prędkość postępową i pionową oraz wysokość lotu. Po prawej stronie znajdują się bardzo rozbudowane opisy funkcji kamery wraz z podstawowymi parametrami fotograficzno-filmowymi oraz możliwością szybkiego włączenia nagrywania i ustawienia stabilizatora obrazu. Aplikacja, dzięki wbudowanemu plannerowi, ma także możliwość zaplanowania lotu po uprzednio wyznaczonych punktach drogi. Program oferuje możliwość wyboru kilkudziesięciu punktów, które powinny być oddalone od siebie stosunkowo równomiernie. Oprócz tego aplikacja daje dostęp do szeregu ustawień począwszy od podstawowych do wysoce zaawansowanych. Rozbudowane ustawienia (ryc. 3 i 4) dają możliwość bardzo szerokiej personalizacji i optymalizacji BSP, jego lotu, kamery, mapy oraz samej aplikacji i pozwalają na korzystanie z niej w jak najbardziej wydajny sposób.

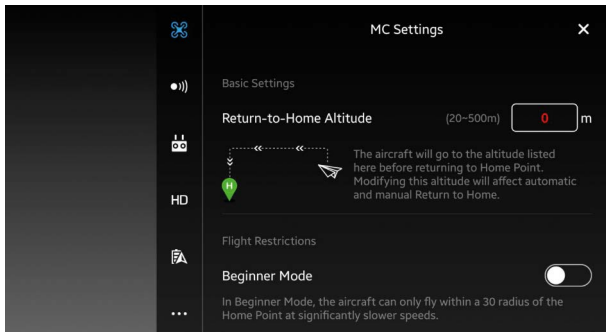


Figure 3. An example of advanced settings of the UAV operation app – main controller settings

Rycina 3. Przykładowe ustawienia zaawansowane aplikacji do obsługi BSP – ustawienia główne kontrolera

Source/Źródło: <https://www.droney.net/matrice-600-dji.html/>

The impact of selected weather factors on the use of electric UAVs

Precipitation exerts a key impact on the selected electric multi-rotor UAVs described in the previous section of the article. These vehicles do not display sufficient waterproofness. According to the manufacturer's manual [17], they cannot be exposed to drizzle, rain or snow, as these weather phenomena, when occurring during the UAV flight, can cause water to penetrate into the integrated circuit board inside the vehicle structure. This can result in a short-circuit and a more-or-less severe damage to the steering unit. In consequence, the UAV steering in the air can be hindered or – most likely – impossible. Hail, in turn, can cause mechanical damage not only to the vehicle structure but (especially) to the delicate propellers, which can be easily broken given the high rotating speed. Hailstorms are often accompanied by strong winds, including gusts from various directions (turbulences, wind shears), their speed frequently exceeding 30 m/s [2]. Even during storms with lower vertical extend the wind can reach up to 25 m/s. These values exceed the maximum speed allowed for the analysed UAVs, which renders the flight and any task performance impossible. Together with the vertical speed of the ascending or descending air currents, which exceeds 20 m/s in *Cumulonimbus* clouds, such weather conditions involve an extremely high risk of the loss of maneuverability and, in consequence, UAV damage. The specifications for each UAV model under analysis prescribe a maximum vertical (climbing) speed of 5 m/s. It is, therefore, extremely dangerous for the vehicle to enter a storm cloud where the speed of the ascending or descending air currents is four times higher. Due to the high

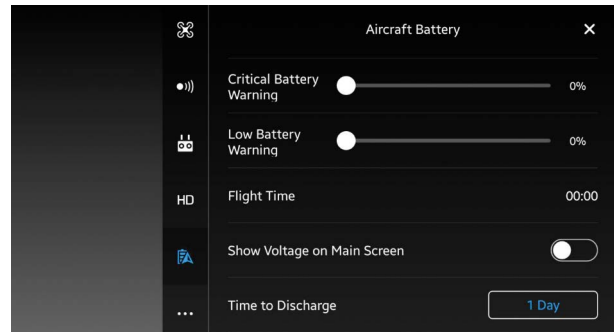


Figure 4. An example of advanced settings of the UAV operation app – battery settings

Rycina 4. Przykładowe ustawienia zaawansowane aplikacji do obsługi BSP – ustawienia baterii

Source/Źródło: <https://www.droney.net/matrice-600-dji.html/>

Wpływ wybranych czynników meteorologicznych na eksploatację BSP o napędzie elektrycznym

Kluczowy wpływ na wybrane bezzałogowe wielowirnikowce o napędzie elektrycznym, opisywane w poprzedniej części artykułu, ma opad atmosferyczny. Maszyny te nie posiadają stosownej klasy wodoodporności i zgodnie z instrukcją producenta [17] nie mogą być narażone na opad mżawki, deszczu czy śniegu. Tego typu zjawiska mogą podczas lotu powodować przenikanie wody do płyty scalonej znajdującej się we wnętrzu konstrukcji, doprowadzić do zwarcia obwodów i mniej lub bardziej rozległych uszkodzeń jednostki sterującej. W konsekwencji sterowanie BSP w powietrzu może być utrudnione lub – co można stwierdzić z dużym prawdopodobieństwem – niemożliwe. Opad gradu może spowodować z kolei uszkodzenia mechaniczne nie tylko konstrukcji, ale przede wszystkim delikatnych śmigieł, które przy dużej prędkości obrotowej mogą zostać połamane. Zjawisku burzy z gradem zwykle towarzyszą bardzo silne porywy wiatru wiążącego ze zmiennych kierunków (turbulencje, uskoki wiatru). Ich prędkość niejednokrotnie przekracza 30 m/s [2]. Przy burzach o mniejszej rozbudowie pionowej porywy wiatru dochodzą do 25 m/s. Taka prędkość przewyższa prędkość maksymalną analizowanych BSP, co uniemożliwia lot i wykonywanie jakichkolwiek zadań. Wraz z prędkością pionową prądu wstępującego/zstępującego, przekraczającą w chmurze *Cumulonimbus* 20 m/s, stwarza skrajnie wysokie ryzyko utraty sterowności i w konsekwencji zniszczenie BSP. Przy parametrach technicznych BSP, które mówią o maksymalnej prędkości wznoszenia, dla każdego z omawianych BSP wynosi ona 5 m/s. Przebywanie BSP w chmurze burzowej, gdzie prędkość prądów wstępujących/zstępujących jest czterokrotnie większa, jest niebezpieczne. Na skutek wysokiej wilgotno-

humidity and low air temperature in the storm cloud, entering it can result in icing, which then leads to the loss of buoyancy and maneuverability. Along with the increasing mass and erroneous readings of some parameters (e.g. no information on air pressure and altitude from the barometric altimeter, GPS disturbances, or no distance sensor readings), the atmospheric discharge actually proves the most damaging phenomenon for UAVs in the storm area. Given the small size and mass, UAVs are instantly damaged when struck by a lightning. Current values from 30,000 A to 300,000 A, with voltage exceeding 1,000,000 V, cause an immediate and irreversible melting of some elements, such as integrated circuit boards, GPS flight controllers, signal receivers, engines, and ESC engine circuits and regulators, which, in the case of the described UAVs, are suitable for a voltage of up to 40 A, i.e. 750-times lower than the ones encountered during the weakest negative electrical discharge [18]. Lightning strikes also cause mechanical damage to the frame and the delicate propellers of multi-rotor aircraft [1], [7]. The only element that can sustain such high current and voltage values is the battery, with its metal casing and Faraday cage providing protection against the electrostatic field. Moreover, every atmospheric discharge generates strong electromagnetic field which results in a faulty performance of GPS receivers, magnetometers and steering apparatus signal receivers. Finally, the electromagnetic field generated by multi-rotor unmanned aircraft, e.g. by the GPS antenna, the internal measurement unit (IMU), the magnetometer or the receiver, can induce increased ionisation (the so-called ionisation channels), thus causing reduced resistance, hindering the discharge of the accumulated cloud potential [4]. This, in turn, increases the likelihood of the UAV being struck by a lightning. All in all, organising an electric multi-rotor UAV flight in storm areas puts the operator at risk of losing vehicle maneuverability and poses an immediate threat of its being struck by a lightning.

A concept of implementing selected weather factors in an exemplary mobile flight control app for professional-use UAVs

The data implementation concept, developed on the basis of the Blitzortung discharge detection system and the POLRAD precipitation detection system, is assumed to be used in the mobile flight control app [18], by means of a wireless Internet connection, to display the location of atmospheric discharges and to map radar data. The data presentation method was partly modelled on the Lightning Maps interface (for atmospheric discharges) [12] and the IMGW *Pogodynka* weather forecast website (for precipitation) [19]. The implementation proposal would be suitable for a flight control app intended for the multi-rotor aerial vehicles as described above, which are used by PKP Cargo and the City Guard in Katowice. Given its planning character, the concept is primarily focused on functional and ergonomic aspects, with the aim of reducing to the minimum

ści oraz niskiej temperatury powietrza w chmurze burzowej wlot w nią może doprowadzić do powstania oblodzenia prowadzącego do utraty siły nośnej i sterowności. Ponadto oprócz zwiększenia masy, błędnych odczytów niektórych parametrów (np. brak informacji o ciśnieniu atmosferycznym i wysokości z czujnika barometrycznego, zakłócenia GPS, brak odczytu z czujników odległości) najbardziej niszczycielskim zjawiskiem dla BSP w obszarze występowania burz są jednak wyładowania elektryczne [4], [18]. Ze względu na niewielkie rozmiary i masę BSP w wyniku uderzeń pioruna zostaje natychmiast zniszczony. Natężenie prądu rzędu od 30 000 A do 300 000 A o wartości napięcia przekraczającej 1 000 000 V powoduje niezwłoczne i nieodwracalne przepalenie elementów takich jak: płyty scalone, kontrolery lotu z GPS, odbiorniki sygnału aparatury, silniki czy przewody i regulatory silników ESC wytrzymujące w przypadku opisywanych BSP prąd o natężeniu 40 A czyli 750 razy mniejszy niż natężenie prądu w najłagodniejszym ujemnym wyładowaniu elektrycznym [18]. Uderzenie pioruna powoduje także uszkodzenia mechaniczne ramy oraz delikatnych śmigieł wielowirnikowców [1], [7]. Jedynym elementem mogącym przetrwać takie wartości natężenia i napięcia prądu jest akumulator, posiadający metalową obudowę i jednocześnie właściwości klatki Faradaya, co sprawia, że jest chroniony przed polem elektrostatycznym. Każde wyładowanie atmosferyczne wytwarza również w swoim pobliżu silne pole elektromagnetyczne, które skutkuje błędnym działaniem odbiorników GPS, magnetometrów i odbiorników sygnału aparatur sterujących. Ponadto pole elektromagnetyczne wytwarzane przez bezzałogowy wielowirnikowiec np. antena GPS, IMU (ang. *Inertial Measurement Unit*), magnetometr, odbiornik może tworzyć w atmosferze miejsca o większej jonizacji, czyli tzw. kanały jonizacji, przez które rezystancja utrudniająca rozładowanie potencjału nagromadzonego w chmurze burzowej jest mniejsza [4]. To zwiększa prawdopodobieństwo uderzenia piorunem. Wykonywanie zatem lotu bezzałogowymi wielowirnikowcami o napędzie elektrycznym w obszarach występowania burz naraża operatora na utratę kontroli nad nim, a także bezpośrednie porażenie go przez piorun.

Koncepcja implementacji czynników meteorologicznych do przykładowej aplikacji mobilnej służącej do kontroli lotu BSP znajdujących profesjonalne zastosowanie

Koncepcja implementacji danych, która powstała w oparciu o system detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung oraz system detekcji opadów atmosferycznych POLRAD, zakłada uwzględnienie w gotowej aplikacji [18] za pośrednictwem bezprzewodowego łącza internetowego lokalizacji wyładowań atmosferycznych oraz zobrazowanie danych radarowych. Sposób prezentacji tych danych został częściowo pobrany z interfejsu Lightning Maps (wyładowania atmosferyczne) [12] oraz z serwisu IMGW *Pogodynka* (opad atmosferyczny) [19]. Propozycja implementacji powstała na przykładzie aplikacji kontrolującej lot wielowirnikowców, takich jak analizowane wcześniej urządzenia wykorzystywane w służbie jednostki operacyjnej spółki PKP Cargo czy Straży Miejskiej w Katowicach. Ma ona charakter planistyczny i koncentruje się

the risk for selected UAVs when moving across precipitation and storm areas. It does not involve software modifications of ready-to-use apps. As already noted, the underlying idea is to represent the locations of atmospheric discharges on a satellite map accessed through the app, and to visualise radar reflections from the above-mentioned interfaces. As regards atmospheric discharge data, the app would display yellow-spot markers on the map to indicate discharge areas, in a manner resembling the Lightning Maps interface. For one minute following the discharge, the discharge area would have a red frame, which would be visible for 59 minutes, gradually changing its colour into brown, in order to indicate how much time has passed since the discharge. Previous-hour data would certainly facilitate flight planning by identifying the nature and direction of the storm movement. Every discharge visible on the map would generate a discreet sound alert, and the app would visualise grey dotted circles with a radius of 10 km, and grey solid circles with a radius of 2 km, around the discharge areas displayed on the map. These circles would altogether form an all-round distancing area, visible for all the atmospheric discharges which occurred within the preceding 15 minutes. If the UAV entered the circle with a radius of 10 km during the flight, the app would activate a 10-second-long warning message (audible each time the UAV entered a discharge area), together with a warning icon at the top of the main screen of the app. In addition, if the UAV entered the circle with a radius of 2 km during the flight, the app would activate – together with the loud two-tone warning signal (audible each time the UAV entered a discharge area) and the 10-second-long message at the top of the main screen – an automatic RTH mode to make the aircraft return to the take-off point by following the shortest straight route visualised on the map. At the same time, an appropriate warning icon would be displayed at the top of the main screen (Figures 5 and 6).



Figure 5. A concept of using images from the Blitzortung discharge detection system on the map – the main screen (an exemplary app)

Rycina 5. Przykładowe ustawienia zaawansowanej aplikacji do obsługi BSP – ustawienia głównego kontrolera

Source: Own elaboration based on [3], [12], [9].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3], [12], [9].

przede wszystkim na aspekcie funkcjonalności i ergonomii obsługi, dla możliwie maksymalnego ograniczenia ryzyka związanego z wykonywaniem lotu wybranymi wcześniej BSP w obszarach występowania opadów atmosferycznych i burz. Nie dotyczy ona programistycznego modyfikowania gotowej aplikacji. Jak już wspomniano, głównym założeniem jest naniesienie na obecną w aplikacji mapę satelitarną miejsc wyładowań atmosferycznych oraz zobrazowania odbić radarowych ze wspomnianych interfejsów. W przypadku danych dotyczących wyładowań atmosferycznych nanosi się znaczniki w postaci żółtej kropki, w miejscu na mapie, w którym wystąpiły wyładowania, analogicznie jak w interfejsie Lightning Maps. Przez pierwszą minutę od wystąpienia posiadałyby zmniejszające się czerwone obramowanie, które następnie byłoby widoczne przez 59 minut, zmieniając z czasem płynnie swój kolor na brązowy, by dostarczyć informacji jak dawno wystąpiły wyładowania. Dane dostępne z poprzedzającej godziny z pewnością pomogłyby w planowaniu lotu na podstawie identyfikacji charakteru burzy i kierunku jej przemieszczania. Każde z wyładowań widoczne w zasięgu mapy generowałoby cichy alert dźwiękowy, a aplikacja wizualizowałaby przerywane szare okręgi o promieniu 10 km oraz ciągłe szare okręgi o promieniu 2 km wokół miejsc wyładowań zobrazowanych na mapie. Okręgi te tworzyłyby dookólny obszar dystansujący i byłby widoczne dla wyładowań, które wystąpiły w przeciągu minionych 15 minut. Jeśli dron znalazłby się podczas lotu w okręgu o promieniu 10 km, aplikacja uruchomiłaby dziesięciosekundowy komunikat ostrzegawczy (jednokrotny przy wlocie w każdy z obszarów wyładowań) oraz ikonę ostrzegawczą na górnym pasku informacyjnym w widoku głównym ekranu aplikacji. Jeśli z kolei BSP znalazłby się podczas lotu w okręgu o promieniu 2 km, oprócz dwutonowego głośnego sygnału ostrzegawczego (jednokrotnego przy wlocie w każdy z obszarów wyładowań) i dziesięciosekundowego komunikatu w górnej części ekranu głównego, automatycznie uruchomiony zostałby tryb powrotu do pozycji startowej RTH po najkrótszej drodze w linii prostej, wizualizowanej na mapie, wyświetlając również na górnym pasku informacyjnym stosowną ikonę ostrzegawczą (ryc. 5 i 6).

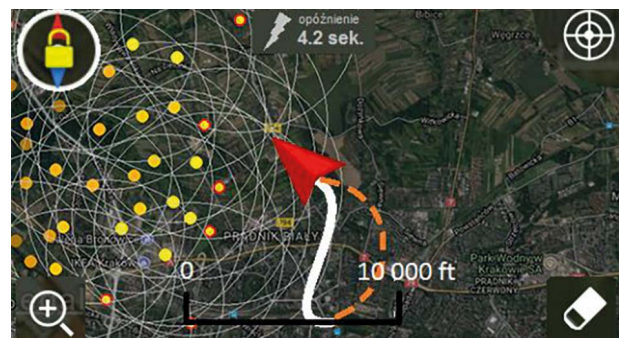


Figure 6. An enlarged view of the concept map with images from the Blitzortung discharge detection system (the bottom-left corner of the main screen)

Rycina 6. Powiększony widok koncepcyjnej mapy z naniesionymi z obrazowaniami z systemu detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung (lewy dolny róg głównego okna aplikacji)

Source: Own elaboration based on [12], [9].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12], [9].

Should it prove impossible for the UAV to return to the take-off point with the "Meteo RTH" mode (Figure 7) activated, due to the formation of new storm cells, the app would update the return route accordingly. It would take into consideration the need to avoid the atmospheric discharge area with an additional 1 km clearance (the total radius from each discharge equalling 3 km). The preferred return route would be visualised with an orange dotted line, or the automatic emergency landing mode would be activated. This would, in turn, launch a separate 10-second-long message and an additional warning icon of the automatically activated "Meteo RTH" mode. Typically, the automatic emergency landing mode would be activated if the battery level during the return flight reached a critical value. The app would be programmed to disable engine start if the distance between the drone, when placed on the ground, and the nearest atmospheric discharge was smaller than 2 km. This action would also be accompanied by a 10-second-long message appearing at the top of the screen, and a warning icon identical as for the activation of the "Meteo RTH" mode. That mode, however, together with the engine start blockade, could be disabled by the operator at any time. The flight route could also be cancelled at the planning stage if it ran through an area of detected storms. In the event of planning a return flight, after rejecting the proposed route, the GPS would switch to automatic hovering [15], and the operator would be notified of this fact only by an appropriate 10-second-long message, but without the dedicated icon. In the case of atmospheric precipitation, radar data would be displayed on the map in the bottom-left corner of the screen, accurately representing the intensity, distribution and area of precipitation [2], using different colours – from navy blue (weak precipitation) to claret (strong precipitation). In line with the operating mode of the POLRAD precipitation detection system, updated information would appear automatically at 10-minute intervals, with images covering only the preceding hour. The images obtained for each 10-minute interval within the preceding hour would refresh automatically every 0.5 second in order to enable a relatively smooth animation and efficient display of radar signals. The modes and performance of both the UAV and the app, as well as the warning and alerting messages, would be identical as in the case of atmospheric discharges, the only difference being the absence of the all-round distancing area on the map, resulting from an irregular shape of the precipitation area and the fact that, generally, entering a precipitation area is far less dangerous for the UAV than flying across a storm area. For practical reasons, the app would only be suitable for detecting situations of the UAV location marker being found within the radar reflectivity zone, with values exceeding 8.5 dBZ (dark blue). This would activate a loud (one-time) two-tone alert upon entering the precipitation or storm area. The "Meteo RTH" mode, the emergency landing mode and the engine start blockade would be activated in a similar manner if the UAV entered the intensive precipitation or storm area, together with the corresponding warning message and icon at the top of the screen (Figures 7 and 8).

Jeżeli dla tego trybu, zwanego „Meteo RTH” (ryc. 7), na skutek wytworzenia się nowych komórek burzowych powrót do miejsca startu nie byłby możliwy w linii prostej, aplikacja na bieżąco obliczałaby inną drogę powrotu. Uwzględniałaby ona ominięcie rejonu wyładowań atmosferycznych z dodatkowym zapasem 1 km (łącznie promień wyniosłby 3 km od każdego wyładowania), wizualizując przerywaną linią koloru pomarańczowego, ukazującą preferowaną drogę powrotu lub zainicjowałaby tryb automatycznego lądowania awaryjnego. Działanie to uruchomiłoby stosowny odrębny dziesięciosekundowy komunikat oraz dodatkową ikonę ostrzegawczą aktywowanego automatycznie trybu „Meteo RTH”. Tryb awaryjnego lądowania standardowo uruchomiony zostałby wówczas, gdy w locie powrotnym poziom baterii spadłby do wartości krytycznej. Aplikacja zaprogramowana zostałaby w ten sposób, aby uniemożliwić uruchomienie silników wówczas, gdy dron znajdowałby się na ziemi w promieniu 2 km od najbliższego wyładowania atmosferycznego. Takie działanie zostałoby również zasygnalizowane stosownym dziesięciosekundowym komunikatem w górnej części ekranu i ikoną ostrzegawczą, identyczną jak w przypadku trybu powrotu do pozycji startowej „Meteo RTH”. Tryb ten wraz z blokadą uruchomienia silników mógłby zostać wyłączony przez operatora w dowolnym momencie. Również na etapie planowania trasa lotu może być odrzucona, gdy przebiega przez rejon występowania burz. W przypadku, gdy planujemy lot powrotny po odrzuceniu zaplanowanej trasy GPS przeszedłby do automatycznego zawisu [15], informując o tym operatora wyłącznie odpowiednim dziesięciosekundowym komunikatem za pośrednictwem aplikacji, bez dedykowanej ikony. W przypadku opadów atmosferycznych na mapie w dolnym lewym rogu ekranu prezentowane byłyby dane radarowe będące bezpośrednim zobrazowaniem natężenia, rozkładu i powierzchni występującego opadu [2], ukazywanego w postaci odcieni barw od barwy granatowej (opad słaby) do barwy bordowej (opad silny). Ze względu na sposób pracy systemu detekcji opadów POLRAD, zaktualizowane dane pojawiałyby się automatycznie co 10 minut, a ich wizualizacja obejmowałaby wyłącznie poprzedzającą godzinę. Zobrazowania z każdych 10 minut mieszczących się w poprzedzającej godzinie byłyby automatycznie przełączane co 0,5 sekundy, by umożliwić stosunkowo płynną animację i skuteczny odczyt sygnałów radarowych. Sposoby postępowania i działanie BSP oraz aplikacji, a także sposób ostrzegania i alarmowania byłyby analogiczne jak w przypadku wyładowań atmosferycznych, z tym że z racji swoich nieregularnych kształtów strefa opadów nie posiadałaby na mapie w aplikacji dookólnego obszaru dystansującego. Ponadto wlot bezałogowym statkiem powietrznym w strefę opadów jest daleko mniej groźny od wlotu w obszar występowania burzy. Aplikacja ze względów praktycznych przystosowana byłaby wyłącznie do wykrywania sytuacji, w której znacznik lokalizacji BSP na mapie znajduje się w strefie odbiciowości radarowej o wartości przekraczającej 8,5 dBZ (kolor ciemny niebieski), pojawi się głośny dwutonowy alert (jednokrotny), występujący przy wlocie do strefy opadów lub burz. Tryb automatycznego powrotu do miejsca startu „Meteo RTH”, tryb awaryjnego lądowania czy blokada uruchomienia silników analogicznie aktywowałyby się, gdy BSP znajdowałby się w strefie intensywnego opadu lub burz. Wyświetlałyby się wtedy komunikat ostrzegawczo-informacyjny oraz bliźniacza ikona ostrzegawcza na górnym pasku informacyjnym (ryc. 7 i 8).



Figure 7. A concept of the warning message in the “Meteo RT” mode activated automatically upon atmospheric discharge and precipitation detection (an exemplary camera view)

Rycina 7. Koncepcja wykorzystania zobrazowań z systemu detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung na mapie w widoku głównym przykładowej aplikacji

Source: Own elaboration based on [3], [12], [9].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3], [12], [9].

Conclusions

The analysis of usefulness has proven that electric UAVs are suitable for professional missions. However, these vehicles display a number of limitations, most importantly including their high sensitivity to weather conditions. With no hermetically sealed hatch, on-board equipment is exposed to damp penetration caused by various types of precipitation, including drizzle, rain and snow. These can cause a short-circuit and equipment damage, while hail can result in UAV mechanical damage. Severe turbulences and strong ascending or descending air currents, which are likely to occur during low-altitude flights, pose a threat of UAV's collision with overground objects. Using more resistant composite materials in the construction of hermetic UAVs could increase the usability of these vehicles. A wide range of possible uses of UAVs encourages further investigations aimed at ensuring their best possible working conditions. Studies aimed at facilitating the use of new materials in the production of UAVs, including composites, power supply sources or steering systems, are also likely to extend the usability of these types of aircraft. Software development appears an equally important matter, which may be crucial for UAV reliability and measurement accuracy.

Literature / Literatura

- [1] Adamski M., *Bezzałogowe statki powietrzne. Cz. II. Konstrukcja, wyposażenie i eksploatacja*, WSOSP, Dęblin 2015, 28–49.
- [2] Jaferník H., Wilczek Z., Ziarko J., *Meteorologiczna osłona działań lotnictwa*, Dom Wydawniczy Bellona, Warszawa 2000.
- [3] Szczepaniak P., *Wykorzystanie zobrazowań danych pochodzących z wybranych systemów detekcji wyładowań atmosferycznych oraz radarów meteorologicznych do planowania i bezpiecznego wykonywania lotu BSP*, Dęblin 2018.

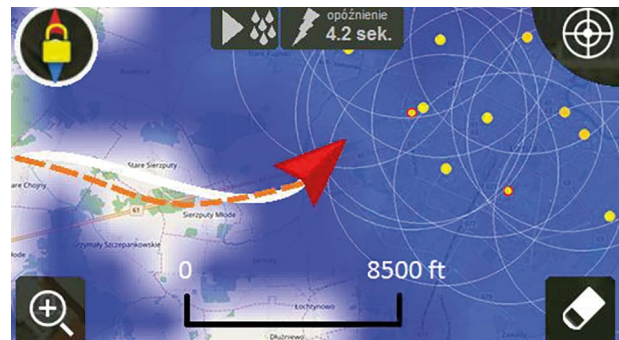


Figure 8. An enlarged view of the concept map with images from the Blitzortung discharge detection system and the POLRAD precipitation detection system

Rycina 8. Powiększony widok koncepcyjnej mapy z naniesionymi zobrazowaniami z systemu detekcji wyładowań atmosferycznych Blitzortung (lewy dolny róg głównego okna aplikacji)

Source: Own elaboration based on [12], [9].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [12], [9].

Wnioski

Analiza przydatności elektrycznych BSP wykazała ich użyteczność do działań profesjonalnych. Posiadają one jednak szereg ograniczeń. Jednym z istotniejszych jest znaczna wrażliwość na warunki meteorologiczne. Brak hermetycznego luku technicznego naraża urządzenia pokładowe na penetrację wilgocią spowodowaną opadem mżawki, deszczu, śniegu, które w konsekwencji mogą doprowadzić do zwarcia elektrycznego i zniszczenia urządzeń. Ponadto opady gradu mogą powodować uszkodzenia mechaniczne BSP. Występowanie silnej turbulencji, silnych prądów wstępujących/zstępujących podczas lotów na małych wysokościach stanowią niebezpieczeństwo kolizji z obiektami naziemnymi. Budowa hermetycznych BSP z materiałów kompozytowych bardziej wytrzymałych może poszerzyć zastosowanie tego typu produktów. Szerokie możliwości zastosowań BSP składają do dalszych badań nad zapewnieniem jak najlepszych warunków pracy tych urządzeń. Badania mające na celu zastosowanie nowych materiałów do produkcji BSP, między innymi takich jak kompozyty, nowe źródła zasilania, systemy sterowania przyczynią się ponadto do rozszerzenia zastosowania tego typu urządzeń. Równie istotną kwestią jest doskonalenie oprogramowania, które może zadecydować o niezawodności, BSP i dokładności ich wskazań.

- [4] Jaferník H., Fellner A., Fellner R., *Meteorologia w transporcie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2016.
- [5] <https://www.lightningmaps.org/> [dostęp: 21.02.2018].
- [6] http://static.antyweb.pl/uploads/2015/12/150827PKPCargoDron_040-1280x720.jpg/ [dostęp: 16.02.2018].

- [7] <http://bi.gazeta.pl/im/2a/e1/15/z22944298V,W-Katowicach-dron-pomaga-walczyć-ze-smogiem.jpg> [dostęp: 17.02.2018].
- [8] <http://visionfly.pl/?product=aparatura-pilot-do-phantom-3/> [dostęp: 13.01.2018].
- [9] http://www.mxzdy.com/img_sub/rc_img/12/05/8833-t1.jpg [dostęp: 11.02.2018].
- [10] https://phantompilots.com/attachments/img_0110-png.69432/ [dostęp: 23.02.2018].
- [11] <https://www.spidersweb.pl/2015/12/drony-pkp-cargo.html/> [dostęp: 18.02.2018].
- [12] <http://rad1.imgw.pl/> [dostęp: 19.02.2018].
- [13] <http://katowice.wyborcza.pl/katowice/7,35063,22944264,w-katowicach-dron-pomaga-walczyć-ze-smogiem-pierwszy-mandat.html?disableRedirects=true/> [dostęp: 17.02.2018].
- [14] <https://www.drony.net/matrice-600-dji.html/> [dostęp: 19.02.2018].
- [15] Gareth D. Padfield, *Dynamika lotu śmigłowców: teoria i wykorzystanie właściwości lotnych i modeli symulacyjnych*, Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 1998, s. 458.
- [16] <https://www.pkpcargo.com.jednostkowy-raport-roczny-pkp-cargo> [dostęp: 15.03.2018].
- [17] <https://www.drony.net, Phantom 3 Professional, Instrukcja Użytkowania PL.>
- [18] Bodzyk P., *Detekcja i Lokalizacja Wylądowań Atmosferycznych*, Warszawa 2006, http://gopssomonino.zetokoszalin.pl/092_detekcja_lokalizacja_wyladowan_%20atmosferycznych.pdf [dostęp: 15.03.2018].
- [19] <https://www.pogodynka.pl> [dostęp: 15.03.2018].

PIL. HENRYK JAFERNIK, PH.D. ENG. – In 1972, he graduated from the Air Force Officer School in Dęblin. After graduating from the School, he served in the aviation section of the front-line units as a pilot. In 1983, he completed a graduate programme at the General Staff Academy in Warszawa-Rembertów. In 1984, he started working as a teacher at the Air Force Officer School. He worked as Lecturer and Extraordinary Professor, and held the functions of Department Head and Manager of the Research Division at the Polish Air Force University. In 1990, he was awarded a doctoral degree. He has published around 230 articles and research papers, including 9 monographs. In 2012, he completed a national research project related to land vehicle and aircraft monitoring for the purposes of the Armed Forces, the Border Guards and the Police. Between 2006 and 2019, he worked as a lecturer, and then as an associate professor, at the State School of Higher Education in Chełm. Between 2008 and 2017, he worked at the Silesian University of Technology, first in the position of Senior Lecturer, and then (from 2012) in the position of Associate Professor. He supervised 157 engineer and master's theses, and acted as an auxiliary supervisor for 3 doctoral theses.

DR INŻ. PIL. HENRYK JAFERNIK – w 1972 r. ukończył Wyższą Oficerską Szkołę Lotniczą w Dęblinie. Po ukończeniu studiów przez kilkanaście lat pełnił służbę wojskową w pionie lotniczym jednostek liniowych jako pilot. W 1983 ukończył studia II stopnia w Akademii Sztabu Generalnego, Warszawa-Rembertów. W 1984 roku rozpoczął pracę dydaktyczną w Wyższej Oficerskiej Szkole Lotniczej. Pełnił m.in. funkcje Kierownika Katedry i Szefa Wydziału Naukowo-Badawczego WSOSP. W 1990 roku uzyskał stopień doktora. Opublikował około 230 artykułów i prac badawczych, 9 monografii. W 2012 roku ukończył prace nad ogólnokrajowym projektem badawczym związanym z monitorowaniem pojazdów lądowych i statków powietrznych na potrzeby Wojska, Straży Granicznej i Policji. W latach 2006–2019 pracował na stanowisku wykładowcy, a później docenta w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Chełmie. W 2008 roku rozpoczął pracę na Politechnice Śląskiej. Był promotorem 157 prac inżynierskich i magisterskich oraz promotorem pomocniczym 3 prac doktorskich.

sft.cnbop.pl

