

SFT

SAFETY & FIRE TECHNOLOGY

Safety of Systems Integrating Fire Protection Equipment – Risks, Gaps, Recommendations **p. 84**

Bezpieczeństwo systemów integrujących urządzenia pożarowe – zagrożenia, luki, rekomendacje **s. 84**

Designing Buildings and Building
Environments for Greater Resilience
against the Encroachment
of Seasonal Forest Fires
p. 6

Projektowanie budynków i ich otoczenia
ukierunkowane na zwiększenie
ich odporności na oddziaływanie
sezonowych pożarów lasów
s. 6

Study of the Shock Absorption
Effectiveness of Air Cushions
p. 20

Badanie skuteczności
amortyzacji skokochronów
s. 20

Condensed Aerosol Generators in Fire Safety
of Buildings. Part 1 – Analysis of Normative
and Legal Documents
p. 102

Generatory skondensowanego aerozolu
w ochronie przeciwpożarowej obiektów
budowlanych. Część 1 – analiza dokumentów
normatywnych i prawnych
s. 102

EDITORIAL COMMITTEE / KOMITET REDAKCYJNY

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

st. bryg. dr hab. inż. Jacek Zboina
dr hab. Maria Zielecka
prof. dr hab. Anna Rabajczyk
nadbryg. dr inż. Mariusz Feltynowski
prof. Bogdan Z. Długogórski
prof. dr inż. Aleš Dudaček
prof. Arief E. Dahoe
dr Monika Wyszomirska
dr Agnieszka Siłuszyk

Language editing / Redakcja językowa:

mgr Aleksandra Grzęda
mgr Anna Golińska
mgr Elżbieta Muszyńska-Poleć

Cover design / Projekt okładki: Małgorzata Żurniewicz-Turno

ISSN 2657-8808

e-ISSN 2658-0810

DOI: 10.12845/sft

© by Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowazarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2024.
Pewne prawa zastrzeżone. Artykuły udostępnione na licencji CC BY-SA 4.0 /
Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research
Institute, 2024. Some rights reserved. The articles are published under
Creative Commons License the CC BY-SA 4.0

Editorial Office / Redakcja:

ul. Nadwiślańska 213,
05-420 Józefów k. Otwocka

tel. 22 769 33 20

e-mail: sft@cnbop.pl

www.sft.cnbop.pl

Publisher / Wydawca:



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

Circulation / Nakład: 70 egz.

Typesetting / Skład: Małgorzata Żurniewicz-Turno

Print and binding / Druk i oprawa: www.drukujzsensem.pl

EDITORIAL ADVISORY BOARD / RADA NAUKOWA

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

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

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

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

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

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

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

dr Ai Sekizawa
prof. Tokyo University of Science, Japan

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

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

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

prof. Milosh Puchovsky
Worcester Polytechnic Institute, USA

INDEXING IN DATABASES / INDEKSACJA W BAZACH

EBSCO
BazTech
Index Copernicus (ICV 2021: 100)
DOAJ
J-GATE
VINI
Ulrich's Periodicals Directory
ProQuest
Google Books / Google Play
ERIH PLUS

BOOKSTORE PLATFORMS & LIBRARIES /
PLATFORMY KSIĘGARSKIE I BIBLIOTEKI

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

CONTENT

- 6** Designing Buildings and Building Environments for Greater Resilience against the Encroachment of Seasonal Forest Fires
Adekunle Olubowale Mofolasayo
- 20** Study of the Shock Absorption Effectiveness of Air Cushions
Jacek Roguski, Leszek Jurecki, Ryszard Łyszczek, Krzysztof Cygańczuk
- 46** Algorithm of Behaviour of Virtual Avatars During Public Speaking Training in a VR Environment
Karol Jędrasiak, Robert Marcin Wolański, Damian Bereska
- 56** A Personalised Optimising Level Adaptation (OLA) Difficulty Algorithm for Scenario Simulations in Professional VR Simulators
Robert Marcin Wolański, Karol Jędrasiak
- 66** The Consequences of Mining Damage and their Impact on the Natural Environment – a Case Study of Trzebinia
Krzysztof Cygańczuk, Jacek Roguski
- 84** Safety of Systems Integrating Fire Protection Equipment – Risks, Gaps, Recommendations
Wojciech Wróblewski, Dorota Seliga
- 102** Condensed Aerosol Generators in Fire Safety of Buildings. Part 1 – Analysis of Normative and Legal Documents
Robert Śliwiński
- 128** Improvement Options and Directions for Crisis Management Exercises Organised by Local Governmental Administration on the Example of Podkarpackie Voivodship – Theoretical Assumptions
Bernard Wiśniewski, Andrzej Czupryński, Jan Ziobro, Karol Kujawa
- 136** Analysis and Evaluation of Currently Used Standards/Norms/Guidelines for the Design and Installation of Emergency Lighting
Marcin Ochenkowski, Tomasz Popielarczyk
- 158** The Potential of Emergency Medical Response to CBRNE Threats in the Context of Military-Civilian Cooperation
Arkadiusz Trzos, Karol Łyziński

SPIS TREŚCI

- 6** Projektowanie budynków i ich otoczenia ukierunkowane na zwiększenie odporności na oddziaływanie sezonowych pożarów lasów
Adekunle Olubowale Mofolasayo
- 20** Badanie skuteczności amortyzacji skokochronów
Jacek Roguski, Leszek Jurecki, Ryszard Łyszczek, Krzysztof Cygańczuk
- 46** Algorytm zachowań wirtualnych awatarów podczas szkoleń z wystąpień publicznych w środowisku VR
Karol Jędrasiak, Robert Marcin Wolański, Damian Bereska
- 56** Spersonalizowany algorytm poziomu trudności Optimising Level Adaptation (OLA) do symulacji scenariuszy w profesjonalnych symulatorach VR
Robert Marcin Wolański, Karol Jędrasiak
- 66** Konsekwencje szkód górniczych i ich wpływ na środowisko naturalne.
Trzebinia – studium przypadku
Krzysztof Cygańczuk, Jacek Roguski
- 84** Bezpieczeństwo systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe – zagrożenia, luki, rekomendacje
Wojciech Wróblewski, Dorota Seliga
- 102** Generatory skondensowanego aerozolu w ochronie przeciwpożarowej obiektów budowlanych.
Część 1 – analiza dokumentów normatywnych i prawnych
Robert Śliwiński
- 128** Możliwości i kierunki doskonalenia ćwiczeń z zakresu zarządzania kryzysowego organizowanych przez terenową administrację rządową na przykładzie województwa podkarpackiego – założenia teoretyczne
Bernard Wiśniewski, Andrzej Czupryński, Jan Ziobro, Karol Kujawa
- 136** Analiza i ocena obecnie stosowanych standardów/norm/wytycznych dotyczących projektowania i instalowania oświetlenia awaryjnego
Marcin Ochenkowski, Tomasz Popielarczyk
- 158** Potencjał reagowania ratownictwa medycznego na zagrożenia CBRNE w kontekście współpracy wojskowo-cywilnej
Arkadiusz Trzos, Karol Łyziński

Adekunle Olubowale Mofolasayo^{a)*}

^{a)} Carnelian Ruby Inc., Canada

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: adekunle.mofolasayo@carnelianruby.ca

Designing Buildings and Building Environments for Greater Resilience against the Encroachment of Seasonal Forest Fires

Projektowanie budynków i ich otoczenia ukierunkowane na zwiększenie ich odporności na oddziaływanie sezonowych pożarów lasów

ABSTRACT

Purpose: The threat of forest fires in residential communities close to the urban-wildland interface is a big concern in the face of limited manpower for firefighting operations. The paper seeks to answer the question of, 'how to design buildings to withstand the threats from seasonal forest fires. To encourage further research on automatic fire detection and suppression, the following questions are asked:

1. Can we develop a simulation system to manage water in reservoirs for fire suppression efforts while reducing the toll on firefighters in various communities?
2. What are the factors that we need to consider in establishing a minimum distance between the forest and residential communities?
3. How can we reduce fire hazards in various residential communities?

Project and methods: A site visit was carried out at local fire station to have a better understanding of the equipment used in firefighting operations. To examine the feasibility of having an adequate water supply for automatic sprinkler operations for firefighting purposes in exterior portions of buildings, simulation processes were used to evaluate how long the water in a reservoir will be available for firefighting.

Results: The results showed that water in reservoirs can be successfully managed for automatic fire suppression efforts. This indicates that automatic fire suppression systems would be a good complement to the human response to the encroachment of forest fires in residential communities. This would be helpful to reduce the toll on firefighters while reducing losses in various communities.

Conclusions: This study describes a conceptual framework on how buildings can be designed to better withstand the threats from seasonal forest fires. An adequate application of the water sprinkler technology for the exterior part of buildings is recommended. Simulation systems were used to evaluate how long water from various sources may be available for firefighting purposes. Rather than waiting for firefighters to come and help extinguish the fire in residential communities, the design of our buildings can be such that it would not only put a major focus on the automatic deployment of the water sprinkler effect for the interior sections of the buildings, but the improved designs for residential buildings should be such that automatic water sprinklers are available to cover all the exterior portions of buildings for a pre-determined length of time, to mitigate the effect of seasonal forest fires. Field testing and validation of the proposed process are recommended.

Keywords: forest fires; firefighting; building designs; automation; simulations

Type of article: original scientific article

Received: 26.05.2024; Reviewed: 16.09.2024; Accepted: 22.10.2024;

Author's ORCID ID: A.O. Mofolasayo – 0000-0001-5499-3448;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 6–19, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.1>;

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

ABSTRAKT

Cel: Zagrożenie pożarami lasów w zabudowie mieszkaniowej znajdującej się na styku obszarów miejskich oraz leśnych stanowi poważny problem w obliczu ograniczonej liczby sił możliwych do zadysonowania do działań gaśniczych. W artykule podjęto próbę odpowiedzi na pytanie, jak projektować budynki, aby były odporne na zagrożenia wynikające z sezonowych pożarów lasów. W celu przeprowadzenia badań nad środkami automatycznego systemu detekcji i gaszenia pożaru postawiono następujące pytania:

1. Czy można opracować symulator do zarządzania wodą w zbiornikach zapasu wody gaśniczej, jednocześnie zmniejszając liczbę ofiar śmiertelnych wśród strażaków w akcjach prowadzonych w różnych zabudowach mieszkaniowych?
2. Jakie czynniki należy wziąć pod uwagę przy ustalaniu minimalnej odległości pomiędzy lasem a zabudową mieszkaniową?
3. Jak możemy zmniejszyć zagrożenie pożarowe dla zabudowy mieszkaniowej?

Projekt i metody: W lokalnej jednostce ochrony przeciwpożarowej przeprowadzono wizytację, która miała pozwolić na lepsze poznanie wyposażenia używanego w akcjach gaśniczych. Aby zweryfikować możliwość zapewnienia wystarczającego zaopatrzenia w wodę w automatycznych systemach tryskaczowych w zewnętrznych częściach budynków, zastosowano symulację pozwalającą ocenić, na jaki czas gaszenia wystarcza dostępna w zbiorniku woda gaśnicza.

Wyniki: Wyniki wykazały, że do celów automatycznego gaszenia pożaru wodą w zbiornikach można skutecznie zarządzać. Oznacza to, że automatyczne systemy gaśnicze byłyby dobrym uzupełnieniem akcji w odpowiedzi na wkraczanie pożarów lasów do obszarów z zabudową mieszkaniową. Byłoby to pomocne w zmniejszeniu liczby ofiar wśród strażaków, a także strat w różnych zespołach budynków mieszkalnych.

Wnioski: Niniejsze badanie opisuje ramy koncepcyjne tego, w jaki sposób można projektować budynki, aby lepiej przeciwstawiały się zagrożeniom związanym z sezonowymi pożarami lasów. Zaleca się zastosowanie technologii tryskaczowej na zewnątrz budynków. Do oceny czasu, w jakim woda z różnych źródeł pozostanie dostępna do celów gaśniczych, wykorzystano systemy symulacyjne. Zamiast czekać na przybycie strażaków i ugaszenie pożaru w zabudowie mieszkaniowej, już sam projekt budynków może pozwolić na automatyczne uruchomienie zraszania wodą. Automatyczne zraszacze powinny być dostępne nie tylko w wewnętrznych częściach budynków, ale również obejmować swoim zasięgiem wszystkie zewnętrzne partie budynków, przez z góry określony czas, tak aby złagodzić skutki sezonowych pożarów lasów. Zalecane są badania terenowe oraz walidacja proponowanego procesu.

Słowa kluczowe: pożary lasów; gaszenie pożarów; projekty budowlane; automatyzacja; symulacje

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 26.05.2024; **Zrecenzowany:** 16.09.2024; **Zaakceptowany:** 22.10.2024;

Identyfikator ORCID autora: A.O. Mofolasayo – 0000-0001-5499-3448;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 6–19, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.1>;

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

Introduction

Forest fires have been a serious problem for humanity in various communities. Encroachment of forest fires in residential neighbourhoods has led to the loss of lives and destruction of properties in various places. Fire hazards can be caused by both natural factors and human negligence. Fire disasters result in serious tragedy for cities. Disasters from fire can negatively affect a nation as they affect national productivity and can cause a reduction in people's welfare. Fire occurrences often occur in high-activity-level regions [1]. According to the National Fire Protection Association (NFPA), in 2021, in the United States alone, 3,800 civilian deaths and 14,700 civilian injuries were caused by fires. The property damage that came with the fire is estimated at \$15.9 billion. The local fire departments responded to about 1.35 million fires. \$648 billion in direct property damage was caused by the major fire in the Colorado wildland/urban interface, WUI [2]. Aydin et al. [3], cited a previous work that stated that 4.5 million U.S. homes are identified as being at a high or extreme-high risk of wildfire.

Associated Press reported that in Greece, six days after Europe's deadliest forest fire in more than a century, fire officials raised the death toll from the wildfire that raged through a coastal area of Athens to 91, and 25 people were reported as missing [4]. In May 2016, the Horse River wildfire shifted towards the communities of Regional Municipalities of Wood Buffalo (RMWB) and resulted in the evacuation of almost 88,000 people. Sadly, 2 lives were lost in a motor vehicle accident on Highway 881. However, miraculously, no life was lost in the actual fire. The estimated damage to insured properties was \$3.6 billion. Further impacts of the wildfire were also estimated to be about \$8.9 billion. The Insurance Bureau of Canada noted that this wildfire was the costliest insured natural disaster in Canadian history [5]. Wildfires have become a fairly common scene in California. Shoot [6] noted

that historically, fires in California cost billions in state and federal suppression costs with insurance claims.

Coogab et al. [7], also reported that the financial costs that are associated with health and safety evacuations and losses that result from wildfires are significant. Techniques to prevent the negative impacts of big wildfires continue to be an important research area in fire suppression, forest and land-use planning, and civil protection research [8]. Huge demand for the construction of new housing, commercial buildings and associated infrastructure is anticipated with the growth and urbanization of the global population over the next several decades [9]. This brings many communities close to urban-wildland interface areas. In addition to substantial losses to societies, economies and ecologies globally, forest fires have resulted in considerable losses in global forest resources, people's lives and property [10]. The high cost of wildfires has called for a need for improved research and efforts to evaluate innovative ways of reducing the potential impact of seasonal wildfires.

Present firefighting systems for communities and their impact on firefighters

Presently, the protocol in some places is that when a fire is detected in a community, the emergency services are called. Firefighters respond quickly to put out the fire. However, it can be overwhelming if the degree of fire is beyond the available human resources, materials and equipment to fight the fire. For example, when the massive, out-of-control Chuckegg Creek wildfire crept to within 3 kilometres of High-level Alberta, an evacuation order was issued. It was reported that the fire grew to 92,000 hectares. The exhausted firefighters and support staff received help both from the weather and from the inflow of new firefighters that came from other provinces [11]. Given the huge amount of dollars that are

recorded as suppression costs in various places, it is wise to further evaluate how additional investment in automatic firefighting technologies (incorporation of firefighting automation systems into the design and construction of buildings) can help to reduce the loss of life and properties, as well as reduce the amount that may have been spent to suppress fire encroachment. It is known that water extinguishes fire (in a reasonable number of circumstances), and we have an abundance of water on earth (from the oceans, rivers, lakes, streams, rain, underground aquifers, etc.). Hence, we have enough water around us to help prevent the damaging effects of seasonal forest fires. Where the amount of water in the community can be of concern, water runoff during heavy rains can be collected and stored in evaporation-controlled reservoirs. Rather than waiting for firefighters to come and help extinguish the fire in residential communities, (if firefighters are going to use water to fight fires in exterior sections of buildings) our building designs can be such that they will not only automatically deploy water sprinkler effects for the interior sections of the buildings, but the improved building designs for residential construction should be such that automatic water sprinklers are available to cover all the exterior sections of residential buildings for a pre-determined length of time, to mitigate the effects of seasonal forest fires (especially in urban-wildland interface regions). At this time, water sprinklers are mostly used for fire protection for interior sections of buildings. Innovations in fire management and fire safety have seen the introduction of automatic fire detection and fire suppression systems for industrial operations. For example, Innovfoam [12] has developed 'plug and play roof monitors' (a fire extinguishing monitor) that are installed in a standard roof opening. During a fire event, the fire extinguishing system is activated to put out the hotspot of the fire. Innovfoam [13] also developed an extinguishing robot that can be operated remotely and can access hard-to-reach areas. While a water screen protects the robot from the heat, the robot can cast a blanket of foam in its path, allowing it to safely move forward. The robot can also work with hoses for extinguishing water that is supplied by a fire-extinguishing vehicle. These innovations can be adapted for use in new community designs and existing communities that are at risk of forest fire encroachments. Fleming [14] stated that although water is not a perfect extinguishing agent (it is mostly used in fire extinguishing work because of its wide availability), the structural elements of a building can be protected by the cooling abilities of water until the fire can be extinguished through other means. Like the efforts in traditional firefighting, it is hoped that when applied in the right quantity, water discharged through automatic water nozzles/sprinklers for exterior firefighting work will help make buildings more resilient to the damaging potential of seasonal forest fires, reducing the economic, social and environmental impact. Water to be stored in a reservoir for emergency firefighting may be obtained from harvesting rainwater, pump actions from underground aquifers, or other means as stated above. More research is recommended to ascertain whether water will be a perfect extinguishing agent for specific materials used for the exterior finishing of various buildings.

In the effort to answer the question, 'How can we design buildings and building environments to better withstand the

threats from seasonal forest fires?' and also develop a sustainable automatic fire suppression plan to minimize property loss during encroachment of forest fires, this study presents:

- A discussion on the present firefighting systems for communities and their impacts on firefighters.
- A discussion aimed at evaluating the effectiveness of the present firefighting system on the achievement of sustainability goals.
- A discussion aimed at describing how to incorporate reliable autonomous fire suppression systems into the engineering design of infrastructures to better protect the occupants in episodes of normal forest fires until greater intervention is available.
- A discussion on why the use of materials with high fire ratings alone would not be sufficient to guard against the encroachment of seasonal forest fires.
- A discussion on basic infrastructures that are needed to better withstand the effects of seasonal forest fires.
- A description of a simulation approach to evaluate how long water in a reservoir can last during automatic fire suppression episodes (while using multiple water discharge outlets/sprinklers).
- Questions for further research on how to design buildings and building environments for greater resilience against the encroachment of seasonal forest fires.

These discussions aim to highlight the fact that the present approach to fire suppression during wildfire episodes brings a high toll on firefighters. Meanwhile, it still comes with heavy losses to society at large. However, the adoption of technological innovations (as described) can help reduce the heavy toll on firefighters while reducing the loss to society at large. The process description of the 'evaluation of how long water in a reservoir for fire suppression' can last is important to encourage further research and adequate planning on water management during fire episodes. If there is not enough water in a reservoir to consistently mitigate against the risk of the fire until the end of the fire episode, the infrastructure may eventually burn. Hence, adequate planning, management and supply of water for fire suppression at places where they are needed during fire episodes is important.

Can we achieve sustainability goals with the present firefighting systems for residential communities?

Cities are surrounded by forests, open areas, or agricultural land where fire incidence can occur, threatening human life and causing many resources to become extinct [15]. Sustainability, a term that evaluates whether the approach of doing things can be continued without adverse effects is important in resource management. The United Nations report of the World Commission on Environment and Development [16] stated that sustainable development seeks to meet the aspirations and needs of the present without compromising the ability to meet those of the future and that this is a goal that is not only for developing nations, but also for industrialized nations. When it comes to the impact of seasonal forest fires on residential communities in various places (especially when residential buildings are burnt and people have to explore new resources for reconstruction), there

is a need to evaluate whether the present system is sustainable. (i.e., are we making a judicious use of resources if we keep the status quo?). Can we say that we have sustainable community designs if our communities and buildings are not designed to be resilient to the impact of natural disasters such as forest fires?

Purvis et al.[17], stated that the three-pillar (economic, social and environmental) conception of sustainability has become ubiquitous. The economic impact of seasonal forest fires on residential communities includes the cost to rebuild after the destruction of houses, loss of potential revenue for companies that are affected, cost of insurance to provide temporary accommodation and compensation for lost properties, and an increase in insurance premiums for people contributing to the house insurance pool in the community. The social impacts include interruption in people's daily living, the inconvenience that comes with sudden and mandatory evacuations, loss of personal belongings and loss of things that create some cherished memories. The environmental impact on residential communities includes the effects of the seasonal forest fires on the immediate environment in residential areas, and the impact on air quality for people in various other communities (including communities in distant places), etc. It cannot be said that we are sustainability conscious if we do not fully explore the means to avoid the unnecessary waste of resources (including waste of resources that come from the impact of forest fires on residential communities). If allowing seasonal forest fires to destroy residential communities cannot be seen as a sustainable way of living, it will be good to further explore opportunities to minimize the impacts of these events on people.

How can we design and incorporate a reliable autonomous system into the engineering design of infrastructures to ensure better protection for the occupants in episodes of normal forest fires until greater intervention (and rescue effort) is available?

One of the concerns with firefighting efforts is that in some instances, resources that are available locally for fire suppression activities are not enough. Gonzalez-Olabarria et al.[8], described management areas for fire suppression support (MASSs) as areas in the landscape that change fire behaviour, reducing the size of the wildfire and greatly improving the capacity/effectiveness of fire suppression. It is expected that a careful design, construction and utilization of automatic water sprinklers to cover entire exterior areas of buildings will also help reduce the toll on firefighters and improve the effectiveness/capacity of fire suppression activities. Design and construction of residential buildings to make buildings more resilient to the threats from seasonal forest fires may require some changes to building codes in various communities. The national strategy (Forest and range lands) [18] stated that changes in building codes are likely to be more effective in counties with increasing wildland-urban interface, places that can be regarded as high-hazards etc. Focus on home defensive actions is one of the management options that was specified in the national strategy.

In planning for a good irrigation system for the lawn of a building, a good designer will ensure that the sprinklers are positioned to adequately cover all the green areas of the properties that need

to be watered. In improving building designs to ensure that automatic water sprinklers can cover the entire exterior parts of the building (similar to the sprinkler designs for in-door fire-fighting), it will be desirable to know the extent to which each exterior water sprinkler can adequately reach. A good design will ensure that the installation of the exterior water sprinklers adequately covers the entire building. Exterior water sprinklers to prevent the encroachment of seasonal forest fires to residential buildings should not only cover the building, it will be a good idea to ensure that the water sprinklers can also reach a good height and cover areas that are at a considerable distance from the residential buildings. Various creative design approaches can be used for this. While it will not be a bad idea for all buildings to have automatic exterior fire prevention and firefighting systems, if the cost of incorporating a new design on buildings will be a lot for some homeowners, it will be a wise idea to incorporate automatic fire fighting systems in important buildings in the communities (such as hospitals, schools, and other buildings that people access for essential services) and for buildings that are close to wildland-urban interface, to mitigate against encroachment of seasonal forest fires on residential communities. Note that the proposed automatic exterior firefighting systems for buildings do not mean that buildings should not be equipped with lightning spikes (to collect electrical charges from the lightning and safely dissipate them to the ground) in jurisdictions where lightning is rampant.

Why will the use of materials with high fire protection ratings in traditional construction not be enough to guard against the encroachment of seasonal forest fire?

Fire protection ratings of construction materials vary. The fact that a material has a high fire rating does not mean that the material will not fail at some point. Eventually, the materials used in traditional construction will fail if a certain temperature is maintained for a particular length of time. The 2018 International Fire Code defines fire protection ratings as "the period that an opening protective assembly will maintain the ability to confine a fire as determined by tests prescribed in Section 716 of the International Building Code". Fire protection ratings are stated in hours or minutes [19] (International Code Council). Because even buildings that have some of their components made up of materials with high fire protection ratings will eventually fail if the fire in the environment is maintained for a considerable length of time, there is a need to ensure that other systems exist that can retard the possibility of ignition of the building materials. To employ a holistic approach in the effort to mitigate the negative impact of seasonal forest fires in residential communities, it will be good to combine various wildfire management strategies including adequate vegetation and fuel management and fire-smart construction practices.

What basic infrastructure do we need to re-design our communities to better withstand the effects of seasonal forest fires?

Fleming [14] noted that a single gallon of water can absorb 2,586.5 KJ of heat as it moves from a room temperature of 21°C to steam at 100°C. For situations when water is a good fire extinguishing agent (when water alone is used during a firefighting

operation) if the quantity of water discharged during the firefighting operations is not enough, the fire may not be extinguished. Materials, equipment and infrastructure that are needed for the installation of water sprinklers for building exteriors may include individual water reservoirs, water supply from community reserves or other sources (such as boreholes, ocean, river, lakes etc.), water pumps where needed, piping systems for automatic sprinklers (for exterior sections of buildings), and the sprinklers.

It is known that various localities have community water supply systems. In some places, boreholes (to get water from underground aquifers) are not uncommon. In the effort to re-design our communities to better withstand the threat from seasonal forest fires, basic questions that needs to be asked in various communities include:

On the community level:

- Do we want to make the water reserved to fight seasonal forest fires independent of the general water supply for the community or do we want to link the water reserve for seasonal forest fires with the community water supply?
- If we are to build new infrastructure for water storage to fight seasonal forest fires, what is the capacity of water tanks/reservoirs that we want to build?
- What technology do we have to put in place to activate the operation of the water reservoir for fire-fighting?

On the individual building level:

- What is the number of sprinklers that are needed to cover the entire house?
- What locations on the building do we need to install the water sprinklers?

On the community level, to ensure that people can still have a reasonable level of water supply for domestic use, it will be a good idea to have a separate reserve for emergency fire-fighting during seasonal forest fires. The capacity of water reservoirs to be built in every community will be dependent on the expected water discharge rate from the sprinklers and the time that the community want the automatic fire fighting system to last before the need for an external intervention. Determining how long the water in a reservoir will last before an external intervention is required can be done through simple mathematical calculations. In this study, simple simulation processes are used to illustrate this. The intensity of water sprinkling operations and testing to ensure the safe deployment of the system is a subject for more research. From small buildings to wide forest areas, surveillance system applications are growing drastically [20]. As regards the technology that is needed to activate the system, a technology that is similar to the technology used in the interior water sprinkling system may be used. Alternatively, a technology in which the water sprinkling system will be automatically deployed when the temperature reaches a certain limit (coupled with evidence from video surveillance) may be designed to ensure automatic deployment of the water sprinkling system. It is advisable that the system still has a manual component to ensure that people can physically operate the system in case there is a failure of the automatic water deployment system. Cui [20] discussed fire detection using a wireless sensor network (WSN) with similar functional properties. The sensors are used to sense gas, smoke,

heat, and other atmospheric parameters that can cause fire accidents. Once an abnormal condition is detected the nearest or linked administrative device in the network is alerted. A method like this can be further developed to activate automated fire suppression and extinguishing systems for various municipalities on the urban-wildland interface.

If we will design automatic fire fighting systems to extinguish fires that are encroaching on a building from the exterior sections, it is essential that important questions such as the ones below be addressed.

- How many kilojoules of heat will be released from the combustion of different construction materials?
- For the construction materials in which water is a suitable fire extinguishing agent, how many gallons of water are required to extinguish the fire from varied quantities of materials?
- To create a condition that is not favourable for fire, how much water needs to be continually sprayed on a building for a specified period during the encroachment of a forest fire to prevent the building from being engulfed in fire?
- How often and at what rate do we need to refill the community reservoir that is designed to prevent fire disasters in Urban-Wildland Interface regions to prevent property loss due to forest fire encroachment on residential communities?

Some of the above questions are posed to encourage further studies on this topic.

Objectives, research questions and justification for the study

Fire suppression efforts are crucial during the encroachment of fire to a building. Oftentimes, the available resources are not sufficient to respond to the fire issue, resulting in fatalities and property loss. Sometimes, various communities receive help from firefighters from distant places, but the firefighting efforts can still be limited by the available resources for fire suppression. Hence, to mitigate the negative consequences of fire encroachment on life and property, it is important to review the global approach to fire management. With the knowledge of the fire triangle, bush-fires and forest fires are not meant to be a threat to humanity at large. Rather, there is a need to improve research and development efforts to keep the fires away from residential communities. In this line, this study evaluates what can be done to encourage research and development in innovative fire management to reduce the negative impacts on residential communities in various parts of the globe. An innovative fire management system will involve the automatic identification of a fire and the conditions that favour the fire, and the automatic deployment of fire suppression mechanisms (not only for interior parts of buildings but also for the exterior parts). To encourage further research on automatic fire detection and suppression, the following questions are asked:

1. Can we develop a simulation system to manage water in reservoirs for fire suppression efforts while reducing the toll on firefighters in various communities?

2. What are the factors that we need to consider to establish a minimum distance between the forest and residential communities?
3. How can we reduce fire hazards in various residential communities?

Experimental design

Fire trucks and hoses with different nozzle discharge capabilities are often used for traditional fire suppression and fire extinguishing operations. In the course of this project, a fire station was visited to learn more about the operations. The firefighters use water for traditional firefighting. However, it is known that different types of fires may require a specialized approach rather than water only for fire extinguishing. Hence, each fire episode needs to be duly evaluated to establish an appropriate response from the firefighters. Water is the main extinguishing agent that is used by firefighters for common house fires. Different nozzles that can be operated with a fire truck include a 44 mm fog nozzle with a discharge capability of 550 litres per minute (LPM) ($0.0092 \text{ m}^3/\text{s}$), a 65 mm fog nozzle with a discharge capacity of 950 LPM ($0.0158 \text{ m}^3/\text{s}$), a quick attack monitor with varied discharge capability of 950 LPM ($0.0158 \text{ m}^3/\text{s}$), 1400 LPM ($0.0233 \text{ m}^3/\text{s}$), 1900 LPM ($0.0317 \text{ m}^3/\text{s}$) etc., a Saber master deck gun with a flow rate of 4800 LPM ($0.08 \text{ m}^3/\text{s}$), or a Smeal ladder waterway with a varied flow rate of 1900-5700/1900-7600 LPM (0.0317 - 0.095 / 0.0317 - $0.1267 \text{ m}^3/\text{s}$). Information on the different discharge capabilities of the different water discharge nozzles above was obtained during a visit to a fire station. Figure 1 shows an example of a fire truck and some accessories for fire suppression systems.

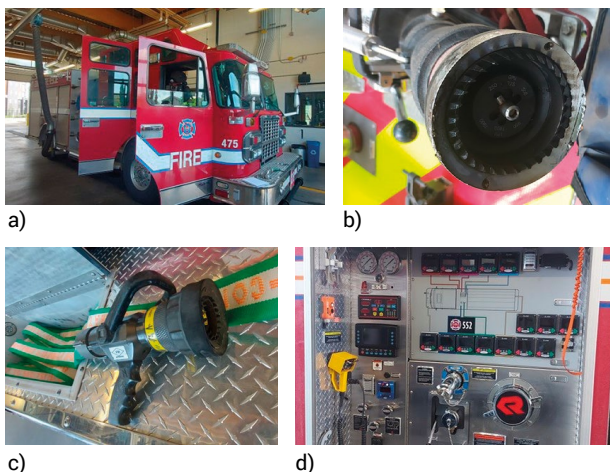


Figure 1. Traditional firefighting systems: a) traditional fire truck, b) water discharge nozzle (quick attack monitor), c) water hose with discharge nozzle (44 mm fog nozzle with 550 LPM discharge capacity), d) control point for the fire truck

Source: Author's own archive.

To examine the feasibility of having an adequate water supply for automatic water sprinkler operations for firefighting purposes in exterior sections of buildings, simulation processes were used

to evaluate how long the water in a reservoir will be available for firefighting works. The simulations were done at an inflow of 100 gallons per minute (gpm) ($0.0063 \text{ m}^3/\text{s}$) both for scenarios where there is no outflow and for scenarios when there is an outflow of water from the reservoir. The simulations were categorized into 2 major sections (depletion and filling of water in a reservoir when there is an inflow of water into the reservoir at a specified rate and when there is no external inflow). The outflow rate of water for firefighting works was varied. For water depletion when water outflow is greater than water inflow, the outflow rates for the 100,000-gallon (378.5 m^3) water reservoir were varied between 200 gpm ($0.0126 \text{ m}^3/\text{s}$) to 400 gpm ($0.0252 \text{ m}^3/\text{s}$) at an increment of 10 gpm ($0.00063 \text{ m}^3/\text{s}$). To illustrate the situation when the reservoir will be filled up while the sprinklers are in operation, the evaluation was done at a constant inflow of 100 gpm ($0.0063 \text{ m}^3/\text{s}$) and outflow rates between 0–90 gpm (0 - $0.00568 \text{ m}^3/\text{s}$) at an increment of 5 gpm ($0.000315 \text{ m}^3/\text{s}$), and an increment of 2.5 gpm ($0.000158 \text{ m}^3/\text{s}$) between 90–95 gpm (0.00568 - $0.00599 \text{ m}^3/\text{s}$). The times to fill a 100,000-gallon (378.5 m^3) reservoir using varied outflow and inflow rates were also compared. In addition to evaluating the feasibility of water management using Excel analysis, models were developed using Vensim system dynamics software. Field testing to determine the outflow rate of water from sprinklers for fire suppression and extinguishing is recommended for efficient planning of autonomous fire suppression systems. It is important that the water reservoir has an adequate water supply to maintain the right pressure that is required to achieve the desirable amount of discharge. The simulation technique that is presented here can be helpful in estimating the time that the water in the reservoir for firefighting works will reach a specified threshold and eventually reach a point of total depletion. The simulation model has the capacity to allow for an increased number of inflows and outflows with different rates. This could help with forecasting the time that various reservoirs may require an additional supply at varied water supply rates.

Thus far, many buildings are designed with indoor fire suppression systems (e.g. fire sprinklers). However, few buildings are designed with systems for external fire suppression systems. The devastating effects of fire encroachment on different communities and the loss of various precious and memorable belongings that people have accumulated over the years calls for further action and research on how we can better design our buildings to be able to withstand the threat of the encroachment of external fires.

Results and discussion

Some discharge nozzles for firefighting now come with automatic (programmable) head adjustments. In addition, the world now has autonomous firefighting equipment. All these can be very helpful in firefighting operations, as long as the equipment has an adequate supply of fire extinguishing material, which may be water or some other chemicals.

If we are going to reduce the toll on firefighters during forest fire encroachment on a city, it is important that we have

an adequate plan for automatic fire detection and firefighting systems. In addition, it is important that we continue with more research on the amount of water (or other fire extinguishing agents) that will be enough to prevent as well as to extinguish fire on combustible structures. This will help in the design of external fire extinguishing systems that will be made available (on standby), and ready for use in areas that are susceptible to the encroachment of forest fires.

How long will the water in the reservoir last during automatic water sprinkler operation to fight seasonal forest fires?

AbouRizk et al.[21], gave an illustration of the law that governs the physical flow of fluids and developed a simulation software (Symphony) that can be used to simulate continuous flow. For continuity of flow in a tank having a cross-sectional area A_{c1} and a drawn-down velocity V_{d1} to another tank having a cross-section area A_{c2} and a drawn-down velocity V_{d2} :

$$A_{c1} * V_{d1} = A_{c2} * V_{d2} \quad (1)$$

Given a water reservoir with capacity V_{total} and Sprinklers with discharge rate $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$, at the end of the water sprinkling operation, (i.e. by the time the reservoir is empty,) the total volume of water used will be equal to the volume of water that is discharged through each sprinkler (i.e. $V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$).

*The total volume of water discharged = Rate of discharge * Time of discharge*

The time (t_{emp}) it will take to empty the reservoir can be illustrated as follows:

$$t_{emp} = \frac{V_{total}}{\sum_{i=1}^n (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)} \quad (2)$$

For example, assuming the water reservoir/tank has a capacity of 100,000 gallons (378.5 m³) of water, and the summation of the discharge rate for all the sprinklers is 200 gpm (0.0126 m³/s), there will be no more water for automatic sprinkler operation after 500 minutes (30,000 s). Given that naturally, fire will not burn in pure water, and also wet wood (with a high moisture content) is not expected to be ignited except when it has dried considerably, it is expected that water sprinkling operations will be effective to prevent a building from being ignited by fire (under normal circumstances). The amount of water that is needed for fire prevention in this way is subject to further research. Note that in the presence of some material, even wet wood may be eventually ignited. For example, if a considerable amount of oil is present in wet wood, the wood may burn. The heat released from the burning oil may eventually create a condition that is suitable for the ignition of the wood. If in some situations, wet wood does not have oil in it, and this creates a condition that is not suitable for ignition, an introduction of materials like petrol or kerosene may create a condition for wet wood to be ignited. In situations such as that of a forest fire, it is not expected that anyone will introduce materials that can aid the fire. Hence, it is expected that the adequate application of water sprinklers that can cover the entire exterior sections of buildings will help prevent the spread of fire in

residential communities. For neighbourhoods that have a central gas supply to various houses in the community, to minimize the possibility that the central gas supply will aid the spread of the fire, it is expected that such communities will have automatic gas shut-off systems that can be remotely turned off for all houses in the community during an emergency such as the encroachment of seasonal forest fires. Figure 2 shows a figurative illustration of water flow from reservoirs to discharge nozzles/sprinklers for automatic fire suppression.

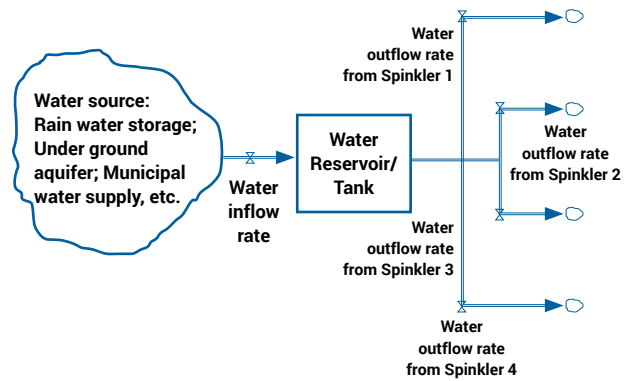
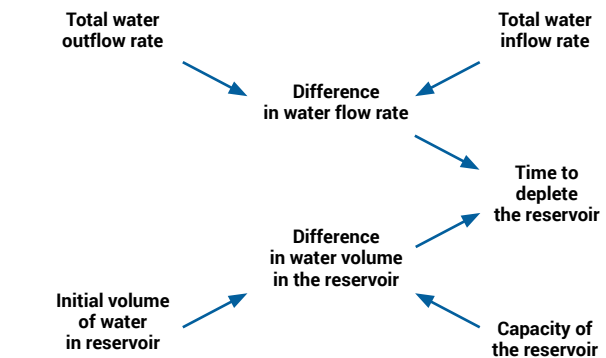


Figure 2. Figurative illustration of water flow paths for fire suppression
Source: Own elaboration.

The water that is reserved for emergency seasonal firefighting can be replenished from an underground aquifer by a pump. This is expected to generate a more lasting water source for the firefighting work. However, if the rate of outflow (from the sprinklers) exceeds the rate of inflow from the underground aquifer, the water in the reservoir will be depleted at some point. Hence, for situations like this, it is important to know the expected time that the water reserve (including the inflow from the underground aquifer) for automatic firefighting purposes will not be sufficient to hold back the fire from destroying the property. It is also important to have a good knowledge of the water reserve in the underground aquifer to have a good estimate of the quantity of water that can be accessed at the desired rate during a fire episode at different times of the year. Other potential water sources for firefighting include rainwater storage, municipal water supply, etc.



a) Simulation of time to deplete the reservoir

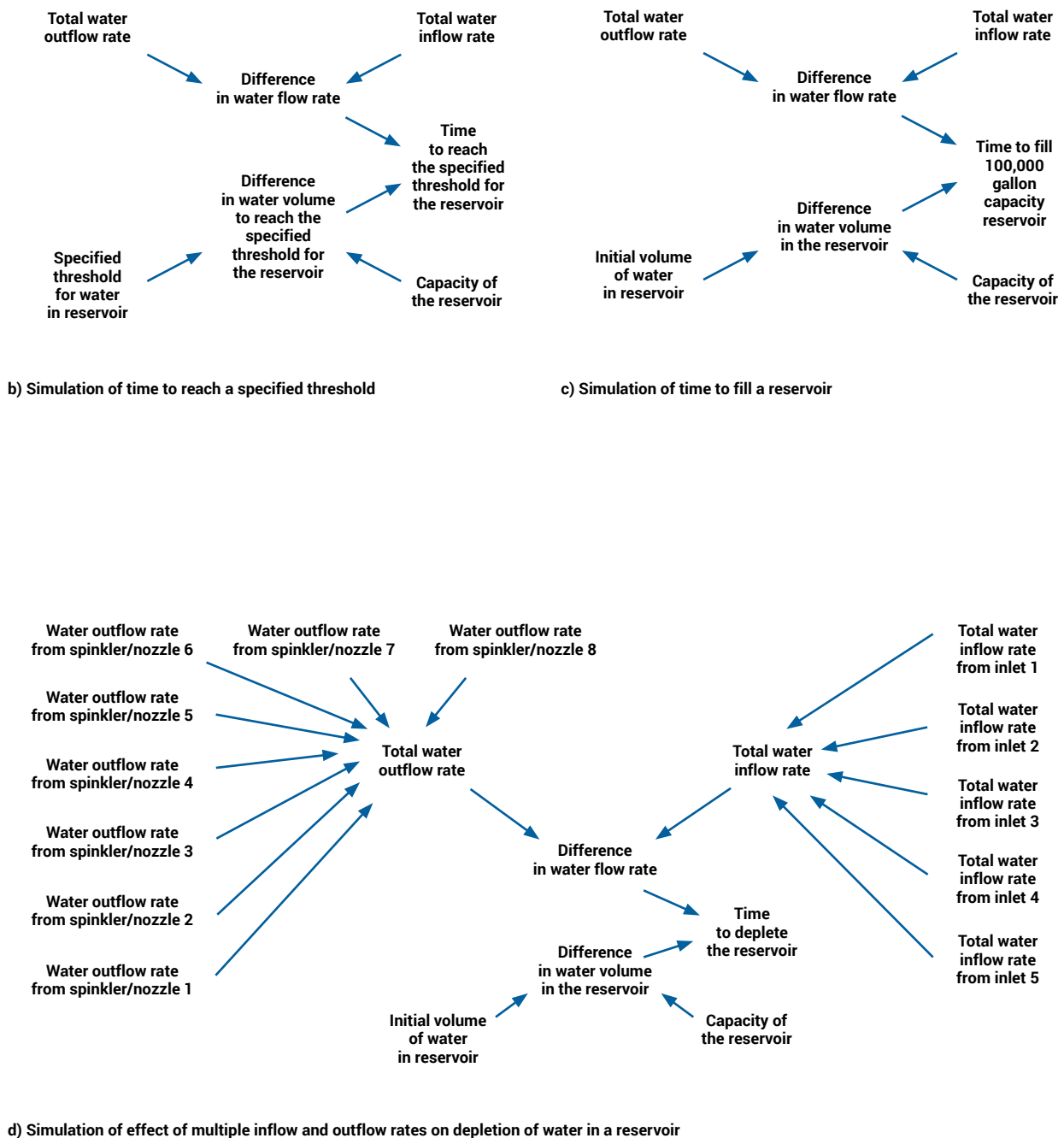


Figure 3. Figurative illustration of simulation interphase for planning of water management for fire suppression using Vensim software
Source: Own elaboration.

Figure 3 shows the simulation interphase for the time to fill, reach a specified threshold and deplete the water in a reservoir of specified capacity for the simulation.

The simulation results showed the expected trend. When the capacity of the reservoir increases, the time to fill the reservoir increases. As the capacity of the reservoir reduces, the time to fill the reservoir reduces. The models can also show how changes in various parameters will affect the time to deplete the water

in the reservoir, facilitating a means to ensure adequate water management during automatic fire suppression processes. By careful design of the capacity of the reservoir and careful design of fire suppression systems, it is possible to design a building that has enough water supply to withstand the encroachment of traditional forest fires. Figure 4 shows an illustrative simulation interphase for water management during automatic fire suppression efforts.

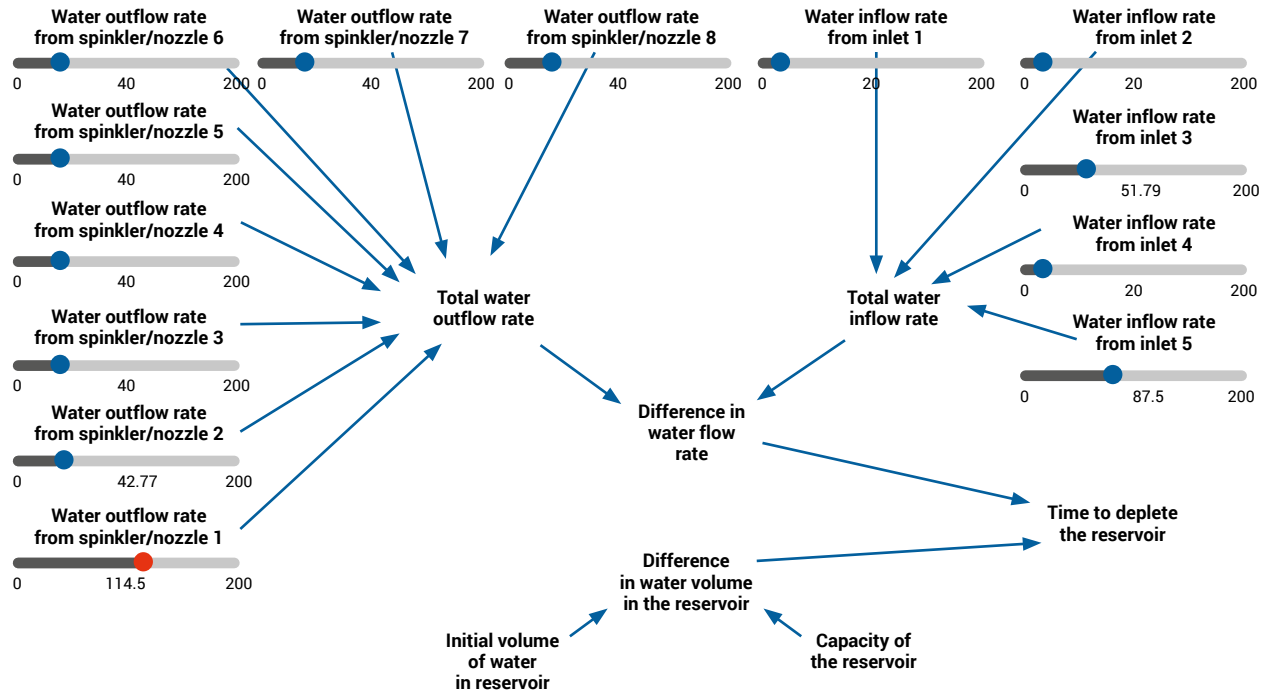


Figure 4. Illustrative simulation for water management for automatic fire suppression efforts
Source: Own elaboration.

$$t_{threshold} = \frac{V_{total} - V_{threshold}}{\sum_{i=1}^n (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n)} \quad (3)$$

$$t_{threshold_w_inf} = \frac{V_{total} - V_{threshold}}{[\sum_{i=1}^n (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n) - (\sum_{j=1}^k (R_{inf_1} + R_{inf_2} + R_{inf_3} + \dots + R_{inf_k}))]} \quad (4)$$

A simulation like the one presented in Figure 4 can automatically capture how the difference in water outflow from any sprinkler/nozzle will affect the time to deplete the reservoir. The simulation interphase for the management of water during automatic fire suppression efforts can also be designed to easily calculate the time it will take the water level in a reservoir to reach a specified threshold. This will give good information on prioritizing which reservoir may require additional replenishment efforts.

Where $t_{threshold}$ is the expected time to reach the specified threshold, V_{total} is the initial volume of water in the tank and $V_{threshold}$ is the expected volume of water at the specified threshold level, the time it will take to reach the threshold can be illustrated as in equation 3.

The equation for the time to reach the specified threshold and the time to empty the tank as indicated above are for scenarios in which the water level in the tank is at a fixed initial rate and is gradually depleted without the introduction of additional water. Knowledge of the time to reach a specified threshold will help with planning on managing the water reserves and replenishment efforts. Note that in the designs above, although the water sprinkled is not designed to return to the reservoir if desired in

real life, it is possible to have a landscape design in which some of the excess water used during the water sprinkling operations may flow back to the reservoir and be re-used for the water sprinkling operations.

For situations in which the water reservoir accepts water from various sources during automatic water sprinkling operations for fire-fighting purposes, the time to reach a specified threshold in the reservoir may be calculated using equation 4. Note that for equations (2) to equation (5), it is assumed that there is no water loss from water leakage or any other means.

Where $t_{threshold_w_inf}$ represents the time to reach a specified limit/threshold in the reservoir while there are inflows from various sources that may include underground aquifers, water delivery from rivers, ocean, etc., through pipes. The expression $\sum_{j=1}^k (R_{inf_1} + R_{inf_2} + R_{inf_3} + \dots + R_{inf_k})$ is the summation of the rate of inflows from various sources.

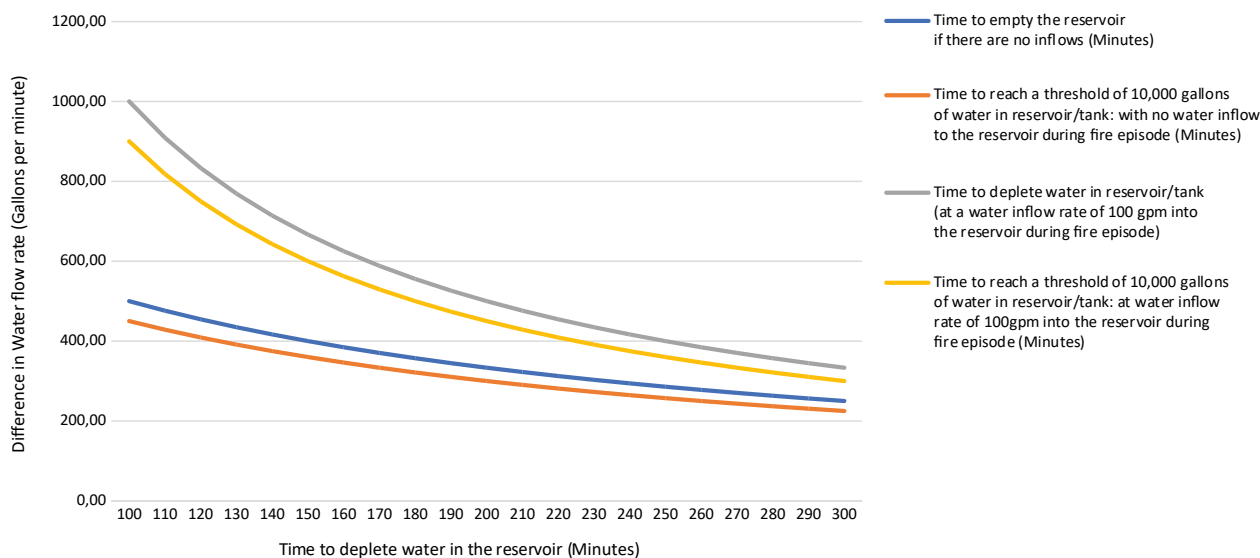


Figure 5. Managing water use during automatic fire suppression scenario: Comparison of the time to deplete water from the reservoir (and time to reach predefined threshold)
Source: Own elaboration.

Figures 5, 6, and 7 show analysis using Excel. Figure 5 shows a comparison of the time to empty the water reservoir and the time to reach a pre-determined threshold for 2 scenarios (i) when there is no inflow into the reservoir and (ii) when there is inflow at a rate of 100 gpm ($0.0063 \text{ m}^3/\text{s}$). For the scenarios illustrated in Figure 5, the cumulative rate of outflow from the reservoir is greater than the rate of inflow. Hence, it is important to know how long the water can be sustained. The threshold was set at 10,000 gallons (37.85 m^3).

Note:
1 gallon (US) = 0.0037854118 m^3 (www.unitconverters.net)
1 gal/min = $0.00006309019640343866 \text{ m}^3/\text{s}$ (www.xconvert.com)
1 litre per minute = $1.6666667 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$ (www.xconvert.com)
Figure 6 compares the time to fill a 100,000-gallon (378.5 m^3) water reservoir with a varied rate of inflow between 200-400gpm ($0.0126\text{-}0.0252 \text{ m}^3/\text{s}$) and varied rate of outflow.

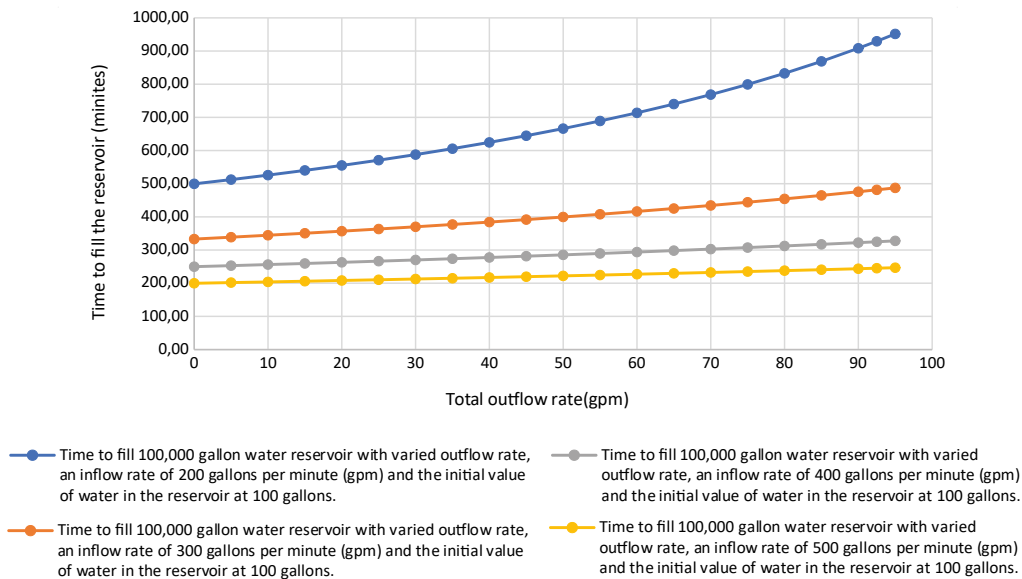


Figure 6. Comparison of time to fill a 100,000-gallon (378.5 m^3) water reservoir with varied rate of inflow: 200 to 500 gpm, ($0.0126\text{-}0.0315 \text{ m}^3/\text{s}$) and varied rate of outflow
Source: Own elaboration.

$$t_{cap} = \frac{V_{cap}}{[(\sum_{j=1}^k (R_{inf_1} + R_{inf_2} + R_{inf_3} + \dots + R_{inf_k}) - (\sum_{i=1}^n (R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n))]} \quad (5)$$

If the rate of water inflow into the reservoir is greater than the rate of water outflow from the sprinklers, the reservoir will be filled up at some point. While it will be good to know the amount of time that is required to fill a reservoir to a desired capacity, an automatic water shut-off system is recommended to prevent water wastage when the reservoir is full. In this case, the time to reach the desired capacity can be calculated as shown in Equation 5. While V_{cap} represents the desired capacity, t_{cap} represents

the time that is required to fill the reservoir to the desired capacity given various inflows with inflow rates $R_{inf_1} + R_{inf_2} + R_{inf_3} + \dots + R_{inf_k}$, and outflows rates from the sprinklers are $R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$.

Figure 7 indicates the time (minutes) to fill a 100,000-gallon (378.5 m³) water reservoir with varied initial volume of water in the reservoir, varied water outflow rate and an inflow rate of 100 gpm (0.0063 m³/s).

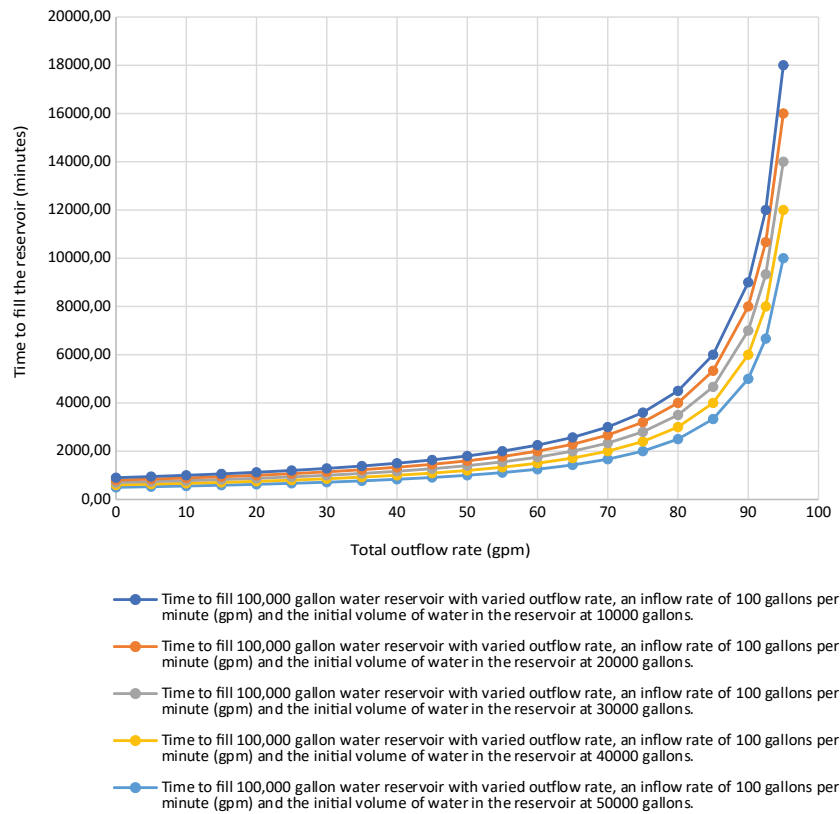


Figure 7. Managing water reserves for automatic fire suppression: Time to fill the reservoir with varied outflow rates, constant inflow rate and varied initial volume of water in the reservoir

Source: Own elaboration.

$$t_{f.in.v} = \frac{V_{tot} - V_{in}}{[(\sum_{j=1}^k (R_{inf_1} + R_{inf_2} + R_{inf_3} + \dots + R_{inf_k}) - (\sum_{i=1}^n (R_{out_1} + R_{out_2} + R_{out_3} + \dots + R_{out_n}))]} \quad (6)$$

For Figure 7, the time to fill the reservoir with an initial volume of water can be represented as a difference in the total capacity of the reservoir, and the initial volume of water in the reservoir divided by the difference in water inflow rate and the water outflow rate (6).

The illustrations above show that the time it will take automatic sprinklers to have enough water supply during the encroachment of seasonal forest fires on residential communities can be predicted. It is hoped that this will help reduce the burden on fire-fighters (during emergency periods) when forest fires encroach on residential communities. Further study is recommended on the quantity of water to be automatically discharged (by external water sprinklers) in response to various intensities of fire.

Potential area of further research for automatic fire fighting for exterior sections of buildings

Continuous research on the design of systems that can identify exterior fires from various parts of the building, while directing water sprinkling efforts in the direction of the fire is recommended. Mofolasayo [22] noted that more research to ensure that water sprinklers for neighbourhood firefighting can identify fires and can autonomously fight and eradicate fires (whilst considering the intensity of the fire) will be commendable.

In addition to the above:

- Continuous research on the systems that can automatically activate external sprinklers when the temperature gets to a certain threshold and automatically stop sprinkler operations when there is no threat of fire is recommended.
- Field testing to evaluate the effectiveness of external water sprinklers for mitigation of threats from seasonal forest fires is recommended.

Other strategies for the reduction of fire hazards in buildings

Reduction of forest fire hazards to residential communities includes efforts to reduce elements of the fire triangle that can lead to the unnecessary spread of fire. Removal of unnecessary combustible materials around various properties would be a commendable effort, creation of adequate buffers between residential communities and the forest, and removing dead but standing trees in the forest close to residential communities [23]. Various factors could lead to the death of a tree in the forest. These include wind storms resulting in windthrows (when some trees are blown down by the wind), insect infestation, disease infestation, etc. These dead trees are resources that can be used as biofuels. However, when left alone, they are also fire hazards for various communities. Hence, adequate clean-up of dead trees in the forest (especially the areas that are close to residential communities is recommended).



Figure 8. Reduce fire hazards by removing 'dead trees on the ground'
Source: Author's own archives.

Recommendation for dead trees in the forest:

- Remove dead trees from forest floors close to homes [23].
- Use dead trees as biofuels or other beneficial uses.
- Allow people to harvest dead trees if they find them lying around.



Figure 9. Reduce fire hazards by removing dead but standing trees, especially those close to the urban-wildland interface.
Source: Author's own archives.

Buffers between forest and residential communities

In the effort to develop efficient fire prevention strategies for properties (especially those close to the urban-wildland interface), a lot of research questions need to be addressed in the combustion of wood materials.



Figure 10. Reduce fire hazards by creating a reasonable buffer between residential buildings and the forest

Source: Author's own archives.

Designing buffers (spaces) between the wildland and residential communities

The creation of a buffer between the wildland and residential communities can come with various contentions as some people will build right next to the forest without much space between the wildland and the residences. Ordinarily, wood burns when enough heat is introduced to start active pyrolysis, and a pilot flame or other high-temperature source is applied to the combustible gases after they have escaped and mixed with air [24]. Given this knowledge, while evaluating how to reduce the negative impact of the encroachment of a wildfire on residential communities, it is important to study how to prevent high heat from wildfires from starting unwanted pyrolysis in the wooden buildings (or other combustible construction materials) in residential neighbourhoods. One of the ways this can be addressed is to provide adequate space between the wildland and the urban interface.

The amount of heat that is generated from a wildland fire is dependent on the amount of fuel that is available for the fire. Hence, it is important to reduce the amount of fuel in the forests that are close to residential communities to a level that will not generate excessive heat that will be difficult for firefighting efforts in the community to control. The goal here is to develop a system in which encroaching wildfires will no longer be a threat to residential communities. It is also known that forest fires can ignite communities when embers fall on combustible surfaces. Hence, it is important that the design of buildings that are close to the urban-wildland interface be upgraded to account for the potential impact of falling embers. To mitigate against this, all combustible surfaces that will be exposed to falling embers need to be reachable by adequate fire suppression systems. This may include a range of water sprinklers with varying discharge capacities to extinguish fires in their infancy before they spread and become difficult to manage. Reasonable spaces between buildings in the urban-wildland interface will also ensure that the risk of neighbouring buildings being ignited by fires from another building close by is reduced.

Knowing that enough heat is needed to start active pyrolysis when designing buffers between wildland and residential

communities, it will be ideal to consider the amount of fuel in the forest at a reasonable distance from the residential communities, and the amount of heat that can be generated if that fuel is engulfed in fire, and the thermal conductivity of air at varied atmospheric conditions such as different temperatures and pressures (especially those that are typical with previous wildfires in the area). This information can be used to forecast the likelihood that the buildings will be engulfed in flames if there is a wildland fire. Information from analysis considering various associated factors that contribute to fire hazards for residential communities can be used to scientifically defend a minimum buffer. However, it should be known that sometimes unforeseen circumstances occur (which may be different from what has happened in various communities in the past). With that, it is reasonable to allow for some additional precautions in the design of buffers between residential communities and the wildland.

How can we reduce the toll on firefighters and also reduce the loss of life and property during episodes of fire encroachment on residential communities?

A strategy for the management of water reserves for autonomous firefighting systems during fire encroachment to residential communities has been described. However, it is important to design buildings in a way that all the exterior sections of the building can be reachable with autonomous fire suppression mechanisms such as high-pressured water sprinklers or water discharge nozzles. The use of video surveillance to detect the presence of fire on the building and the surroundings is also recommended to ensure that autonomous fire suppression can be deployed immediately. Although the use of automatic fire suppression systems is commendable in reducing the toll on firefighters while minimizing the associated losses, firefighters can still come round to ascertain that the threat of fire is adequately addressed.

Conclusion and recommendations

This study describes a conceptual framework on how buildings can be designed to better withstand the threats from seasonal forest fires. An adequate application of the water sprinkler technology for the exterior part of buildings is recommended. Simulation systems were used to evaluate how long water from various sources may be available for firefighting purposes. Rather than waiting for firefighters to come and help extinguish fires in residential communities, the design of our buildings can be such that will not only put a major focus on the automatic deployment of the water sprinkler effect for the interior sections of the buildings, but the improved designs for residential buildings (that are at risks of the encroachment of forest fires) should be such that automatic water sprinklers are available to cover all the exterior sections of buildings for a pre-determined length of time, to mitigate the effect of seasonal forest fires. Firefighters can

come round to inspect the automatic fire suppression efforts to ascertain the efficiency and to provide additional support where needed. To avoid arguments and contentions on whether there is a need for a reasonable allowance between forests and residential communities, the study describes factors that can be considered to scientifically establish a minimum buffer that should be provided between the forests and residential communities. Field testing and validation of the proposed process are recommended to determine the optimum amount of water that will be needed to prevent buildings from being engulfed by fires during the encroachment of seasonal forest fires into residential neighbourhoods. Continuous research on autonomous fire suppression systems using adequate water sprinkler technology is recommended to reduce the negative impacts of fire encroachment on residential communities while reducing the toll on firefighters.

Literature

- [1] Supriadi A., Oswari T., *Analysis of Geographical Information System (GIS) Design Application in the Fire Department of Depok City*, "Technium Social Sciences Journal" 2020, 8, 1–7, <https://doi.org/10.47577/tssj.v8i1.181>.
- [2] Hall S., Evarts B., *Fire Loss in the United States During 2021*, National Fire Protection Association, NFPA2022, available online at: www.nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/US-Fire-Problem/osFire-Loss.pdf.
- [3] Aydin B., Selvi E., Tao J., Starek M.J., *Use of Fire-Extinguishing Balls for a Conceptual System of Drone-Assisted Wildfire Fighting*, "Drones" 2019, 3, 17, <https://doi.org/10.3390/drones3010017>.
- [4] Kantouris C., Nellas D., *Death toll from Greek wildfire reaches 91 as village grieves*, The Associated Press, USA today, 2018, <https://www.usatoday.com/story/news/world/2018/07/29/greek-wildfire-death-toll-climbs-village-mourns/860430002/> [accessed: 18.06.2019].
- [5] KPMG, *Lessons Learned and Recommendations from the 2016 Horse River Wildfire*, 27.07.2017 Final report.
- [6] Shoot B., *How much the 2018 California Fires have cost (so far)*, "Fortune" 2018, <http://fortune.com/2018/07/31/worst-california-fires-cost-carr-fire-ferguson-2018/> [accessed: 18.06.2019].
- [7] Coogab S.C.P., Robinne F.-N., Jain P., Flanighan M.D., *Scientists' warning on wildfire- a Canadian perspective*, "Canadian Journal of Forest Research", <https://doi.org/10.1139/cjfr-2019-0094>.
- [8] Gonzalez-Olabarria J.R., Reynolds K.M., Larranaga A., Garcia-Gonzalo J., Busquets E., Pique M., *Strategic and tactical planning to improve suppression efforts against large forest fires in the Catalonia region of Spain*, "Forest Ecology and Management" 2019, 432, 612–622, <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.09.039>.
- [9] Churkina G., Organschi A., Reyer C. P. O., Ruff A., Vinke K., Liu Z., Reck B. K., Graedel T. E., Schellnhuber H. J.,

- Buildings as a carbon sink*, "Nature sustainability" 2020, 3, 269–276, <https://doi.org/10.1038/s41893-019-0462-4>.
- [10] Zhang G., Wang M., Liu K., *Forest Fire Susceptibility Modeling Using a Convolutional Neural Network for Yunnan Province of China*, "International Journal of Disaster Risk Science" 2019, 10, 386–403, <https://doi.org/10.1007/s13753-019-00233-1>.
- [11] CBC News, "It was a helluva experience": Alberta wildfire takes toll on firefighters, evacuees, 2019, <https://www.cbc.ca/news/canada/edmonton/alberta-wildfire-high-level-1.5144688> [accessed: 21.06.2019].
- [12] Innovfoam, *Plug and play roof monitors*, <https://innovfoam.nl/en/solutions/roof-monitor/#Monitors> fire and responds from the roof [accessed: 1.11.2023].
- [13] Innovfoam, *Extinguishing robot*, <https://innovfoam.nl/en/solutions/extinguishing-robot/> [accessed: 1.11.2023].
- [14] Fleming R.P., *Automatic Sprinkler System Calculations*, in: Hurley M.J. et al. (eds) *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Springer, New York, NY 2016, https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2565-0_42.
- [15] Sharma A., Singh P. K., Kumar Y., *An integrated fire detection system using IoT and image processing technique for smart cities*, "Sustainable Cities and Society" 2020, 61, <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102332>.
- [16] United Nations, Report of the World Commission on Environment and Development – Our Common Future, 1987, <https://www.are.admin.ch/are/en/home/sustainable-development/international-cooperation/2030agenda/un-milestones-in-sustainable-development/1987-brundtland-report.html> [accessed: 10.07.2019].
- [17] Purvis B., Mao Y., Robinson D., *Three pillars of sustainability: in search of conceptual origins*, "Sustainable science" 2019, 14(3), <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0627-5>.
- [18] Forests and Rangelands. "The national strategy", <https://www.forestsandrangelands.gov/documents/strategy/strategy/communications/NationalStrategySummary.pdf> [accessed: 4.07.2019].
- [19] International Code Council, 2018, International Fire Code, 27.
- [20] Cui F., *Deployment and integration of smart sensors with IoT devices detecting fire disasters in huge forest environment*, "Computer Communications" 2019, 150, 818–827, <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.11.051>.
- [21] AbouRizk S. M., Hague S. A., Ekyalimpa R., *Construction Simulation – An Introduction Using Symphony*. Hole School of Construction Engineering, Department of Civil and Environmental Engineering, University of Alberta, Edmonton 2016.
- [22] Mofolasayo A., *Redesigning communities to better withstand the threats of forest fires*, *Sustainable Innovation in Education and Technology Education and Awareness of Sustainability*, 2020, 455–459, https://doi.org/10.1142/9789811228001_0103.
- [23] Mofolasayo A., *Are we missing some important steps in forest fire management?*, "Nova mehanizacija šumarstva" 2024.
- [24] Browne, F. L., 1958. "Theories of the combustion of wood and its control" US. Forest Service, Department of Agriculture. Report No. 2136.

ADEKUNLE OLUBOWALE MOFOLASAYO – has a background in civil and environmental engineering and project management. Mr. Mofolasayo has multi-national work experience. His experience includes construction engineering and management on various construction sites, including building construction, road construction, telecommunication cell site construction, etc. Mr. Mofolasayo also has experience in the evaluation of engineering properties of soils, transportation infrastructure condition evaluation, project management in various fields, and research and development on diverse topics. His diverse educational and work experiences have given him a broad knowledge to address various engineering, project management, and multi-national challenges. Mr. Mofolasayo is also the chief executive officer at Carnelian-Ruby Inc.

Jacek Roguski^{a)}, Leszek Jurecki^{a)}, Ryszard Łyszczek^{a)}, Krzysztof Cygańczuk^{a)}

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

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

Study of the Shock Absorption Effectiveness of Air Cushions

Badanie skuteczności amortyzacji skokochronów

ABSTRACT

Purpose: Safety air cushions play a key role in the Polish rescue system. The basic principles of operation of the jump cushion are based on controlled absorption of the kinetic energy of the human body falling from a great height. Thanks to the use of air layers and flexible energy-absorbing materials, the jump cushion is able to reduce the overload affecting the human body during contact with the shock-absorbing surface. The mechanism of impact overload during a fall involves a sudden deceleration and the accumulation of forces acting on the body, which creates a risk of injuries such as fractures, damage to internal organs or concussion. In order to ensure an optimal level of safety while minimising the risk of serious injuries to both rescuers and rescued people, it is important to understand the excessive deceleration mechanisms during a fall from a significant height. Safety air cushions are designed to slow the body down in a controlled manner by spreading kinetic energy over a larger surface area and for a longer period of time, which reduces the risk of serious injury. Typical g-forces on a well-designed air cushion are in the range of 5-10 g and exceeding them significantly increases the risk of injury.

Methodology: A series of experiments was conducted, where drop test manikins weighting 40 kg to 90 kg and equipped with accelerometers were thrown from height of 16 metres onto jump cushion targets. During these experiments, various jump cushions from different manufacturers with air-filled frames fed via air tanks were used. The data gathered together with video recordings of those tests were then thoroughly analysed.

Conclusions: The research results established acceptable levels of g-force overload for the human body in specific boundary conditions. The data were confirmed consistent with the results accessible in the available literature and enabled the development of technical and operational requirements for safety cushions. The research emphasises the importance of refining the technical parameters of safety air cushions in order to ensure safety and minimise the risk of injuries during rescue operations. In the future, it may be necessary to conduct tests with a manikin of greater mass, which is dictated by the social tendency to gain weight, and to not limit falls to other places on the upper surface of the jump cushion, which may be significant for the magnitude of the overload occurring.

Keywords: air cushion, jump cushion, biomechanical overload, air-filled frame, air cushions, impact (shock) absorption technologies

Type of article: review article

Received: 20.11.2024; Reviewed: 03.12.2024; Accepted: 05.12.2024;

Authors' ORCID IDs: J. Roguski – 0000-0002-7848-053X, L. Jurecki – 0000-0002-7117-7263, R. Łyszczek – 0000-0002-1295-1618; K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 20–45, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.2>;

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

ABSTRAKT

Cel: Skokochrony odgrywają kluczową rolę w polskim systemie ratowniczym. Podstawowe zasady działania skokochronu opierają się na kontrolowanym pochłanianiu energii kinetycznej ciała ludzkiego spadającego z dużej wysokości. Dzięki zastosowaniu warstw powietrza oraz elastycznych materiałów pochłaniających energię, skokochron jest w stanie zredukować przeciążenia oddziałujące na ludzkie ciało podczas kontaktu z powierzchnią amortyzującą. Aby zapewnić optymalny poziom bezpieczeństwa stosowania skokochronów i zminimalizować ryzyko poważnych urazów – zarówno u ratowników, jak i osób ratowanych, istotne jest poznanie mechanizmów przeciążeń towarzyszących upadkowi z wysokości. Mechanizmy te obejmują nagłą zmianę prędkości i akumulację sił działających na ciało. Stwarza to ryzyko urazów, takich jak: złamania, uszkodzenia narządów wewnętrznych czy wstrząsy mózgu. Skokochrony mają za zadanie kontrolowane wyhamowanie ciała upadającego poprzez rozłożenie energii kinetycznej na większą powierzchnię i dłuższy czas. Typowe przeciążenia na dobrze zaprojektowanym skokochronie mieszczą się w zakresie 5–10 g, natomiast ich przekroczenie znacząco zwiększa ryzyko urazów.

Metodologia: Przeprowadzono badania doświadczalne obejmujące serię zrzutów manekinów wyposażonych w czujniki przeciążenia. Zastosowano manekiny o masie 40 i 90 kg, zrzucone z wysokości 16 m na środek powierzchni zeskoku skokochronu. Do testów wykorzystano skokochrony ze stelażem

pneumatycznym, napełniane powietrzem z butli aparatów powietrznych różnych producentów. Dane z czujników oraz rejestracje filmowe przebiegu zrzutów poddano szczegółowej analizie.

Wnioski: Wyniki badań pozwoliły na określenie akceptowalnych poziomów przeciążeń dla ludzkiego ciała w określonych warunkach brzegowych. Dane potwierdziły spójność z dostępnymi wynikami literaturowymi oraz umożliwiły opracowanie wymagań techniczno-użytkowych dla skokochronów. Badania podkreślają znaczenie dopracowania parametrów technicznych skokochronów w celu zapewnienia bezpieczeństwa i minimalizacji ryzyka urazów podczas działań ratowniczych. W przyszłości mogą okazać się niezbędne badania z manekinem o większej masie, co podyktowane jest tendencją społeczną do przybierania na wadze oraz nieograniczanie się do innych miejsc upadku na powierzchnie górnej skokochronu, co może mieć znaczenie dla wielkości oddziałujących przeciążeń.

Słowa kluczowe: skokochron, poduszka ratunkowa, przeciążenia biomechaniczne, stelaż pneumatyczny, poduszki powietrzne

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 20.11.2024; **Zrecenzowany:** 03.12.2024; **Zaakceptowany:** 05.12.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: J. Roguski – 0000-0002-7848-053X, L. Jurecki – 0000-0002-7117-7263, R. Łyszczek – 0000-0002-1295-1618;

K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 20–45, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.2>;

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

Introduction

The literature on this subject generally recognizes John T. Scurlock (1926–2008) as the inventor of the jump cushion. Space Walk Inc., the company established by Scurlock, developed the an innovative (for that period) air cushion called ‘space pillow’. Initially it was used primarily by stuntmen. A motivation for working on air cushions was provided by the dramatic fire in the Rault Center in 1972, which demonstrated the need to develop effective methods for rescuing people trapped in tall buildings. Scurlock developed the first jump cushion in 1973 and patented it in 1974 [1–2]. This device enabled a break through in safety by providing an alternative means of rescue in emergency situations.

In Europe, the concept of a standard rescue cushion, commonly referred to as jump cushion, was first officially described in 1989 by Peter Lorsbach, who presented his design in a patent application [3]. This design was a development of Scurlock’s original ideas, but it introduced some modifications that made jump cushions more practical in rescue applications. These changes were intended in particular to improve the stability and speed of assembly of the jump cushion – aspects that are critical in dynamic rescue operations.

The jump cushions used nowadays are based primarily on Peter Lorsbach’s design. They have a pneumatic frame that ensures a better stability of the structure during filling and use. The structure makes it possible to quickly prepare the cushion for use, which significantly reduces the response time of rescue services when people need to be evacuated from a height [4].

It should be emphasized that the basic principles of operation of a jump cushion involve a controlled absorption of the kinetic energy of a human body falling from a large height. By using air layers and flexible materials that absorb energy, a jump cushion is able to reduce the g-force acting on the human body coming in contact with the shock absorbing surface. This minimizes the risk of serious injuries, such as bone fractures, spine injuries and injuries of internal organs.

Wprowadzenie

W literaturze za pomysłodawcę skokochronu powszechnie uznaje się Johna T. Scurlocka (1926–2008). W założonej przez Scurlocka firmie Space Walk Inc. opracowano innowacyjną (jak na ówczesne czasy) powietrzną poduszkę ochronną „space pillow”. Początkowo używana była głównie przez kaskaderów. Impulsem do podjęcia tematu poduszek ratowniczych był dramatyczny pożar w Rault Center w 1972 roku, który obnażył potrzebę stworzenia skutecznych metod ratowania ludzi uwięzionych w wysokich budynkach. W 1973 roku Scurlock opracował, a następnie w 1974 roku opatentował, pierwszy skokochron ratowniczy [1–2]. Urządzenie to okazało się przełomem w dziedzinie bezpieczeństwa, zapewniając alternatywny sposób ewakuacji w sytuacjach awaryjnych.

W Europie koncepcja standardowej poduszki ratunkowej, powszechnie znanej jako skokochron, została po raz pierwszy oficjalnie opisana w 1989 roku przez Petera Lorsbacha, który przedstawił swój projekt w zgłoszeniu patentowym [3]. Konstrukcja ta stanowiła rozwinięcie idei zapoczątkowanych przez Scurlocka, jednak wprowadziła pewne istotne modyfikacje, które uczyniły skokochrony bardziej praktycznymi w zastosowaniach ratowniczych. Zmiany te miały w szczególności poprawić stabilność oraz szybkość montażu skokochronu – czyli kluczowe aspekty w warunkach dynamicznych operacji ratowniczych.

Współcześnie użytkowane skokochrony bazują głównie na konstrukcji opracowanej przez Petera Lorsbacha. Skokochrony te posiadają stelaż pneumatyczny, który zapewnia lepszą stabilizację struktury podczas jego napełniania oraz użytkowania. Konstrukcja ta pozwala na szybkie przygotowanie urządzenia do użycia, co znacząco skraca czas reakcji służb ratowniczych w przypadku konieczności ewakuacji z wysokości [4].

Warto podkreślić, że podstawowe zasady działania skokochronu opierają się na kontrolowanym pochłanianiu energii kinetycznej ciała ludzkiego podczas upadku z dużej wysokości. Dzięki zastosowaniu warstw powietrza oraz elastycznych materiałów

The jump cushion technology has been developed and adapted for various rescue conditions for decades. In addition to standard rescue situations, jump cushions have also been used in high-elevation operations, such as evacuation from tall industrial building structures. At the same time, the evolution of jump cushions involved research to find materials of better shock-absorbing characteristics and development of air filling systems that ensure fast and safe preparation of the cushion for use.

At present, jump cushion structures are based on concepts developed more than 30 years ago by Peter Lorschbach's company, which use air-filled pneumatic frames. The materials and air filling technologies improved since ensure the high reliability and effectiveness of these products in critical situations. As a result, jump cushions are a crucial piece of equipment used by rescue units worldwide [4].

Safety air cushions can be considered as pneumatic shock absorbers that are designed specifically for providing safety to persons falling from a height. The best known example of a device of this type is car airbags, which provide protection passengers during car crashes. Literature on this subject contains various reports and publications on numerical simulations and experimental testing of the behaviour of airbags in various conditions [5].

Despite the many years of research and experience in this area, airbags continue to be the object of intensive research and are constantly improved, which is necessary to improve their effectiveness and the safety of their users [6]. The innovations made are intended to improve their effectiveness and minimize the risk of negative effects of their operation. The research focuses, among other things, on the possible risks associated with an improper use of airbags, such as cases involving children - passengers who are at risk of injuries caused by the operation of standard airbags [7].

Similar devices are also developed for individual protection of pedestrians; an example is systems of airbags protecting pedestrians in the event of a collision with a vehicle [8]. Pneumatic energy absorbers are used broadly not only in the car industry, but also in other demanding fields, such as:

- vehicle suspension systems, where they effectively absorb energy generated when driving over uneven surfaces [9];
- landing systems for unmanned aerial vehicles (UAV), which must be equipped with technologies that ensure their safe and smooth landing [10];
- spacecraft landing gear, where pneumatic shock absorbers play a key role in the protection of a precious load during landing on other planets [11].

Despite the huge importance of safety air cushions to safety and life protection, there are no systematic studies with a fully scientific approach to safety air cushions. Studies conducted to date do not comprehensively take into account their properties and impact on the safety of evacuation from large heights. Jump cushions, as special safety air cushions, are designed to absorb the kinetic energy of a falling body by reducing the g-force and mitigating the effects of the fall. Their main role is to reduce the risk of injury and to save the life of people evacuated in emergency situations, such as fires in tall buildings [12].

pochłaniającej energię skokochron jest w stanie zredukować przeciążenia oddziałujące na ludzkie ciało podczas kontaktu z powierzchnią amortyzującą. W ten sposób minimalizuje ryzyko poważnych urazów, takich jak: złamania kości, uszkodzenia kręgosłupa czy urazy narządów wewnętrznych.

Technologia skokochronów była rozwijana przez dekady i adaptowana do różnych warunków ratowniczych. Oprócz klasycznych sytuacji ratowniczych, skokochrony znalazły również zastosowanie w operacjach wysokościowych, takich jak ewakuacje z wysoko położonych obiektów przemysłowych. Równocześnie, ewolucja skokochronów wiązała się z badaniami nad materiałami o lepszych właściwościach amortyzujących oraz rozwijaniem systemów napełniania powietrzem, które zapewniają szybkie i bezpieczne przygotowanie urządzenia do pracy.

Obecnie konstrukcje skokochronów bazują na rozwiązaniach opracowanych ponad 30 lat temu przez firmę Petera Lorschbacha i wykorzystujących stelaże pneumatyczne napełniane powietrzem. Udoskonalone na przestrzeni następnych lat materiały i technologie napełniania pozwalają na uzyskanie wysokiej niezawodności i efektywności tych wyrobów w sytuacjach krytycznych. Wszystko to sprawia, że skokochrony stanowią kluczowy element wyposażenia jednostek ratowniczych na całym świecie [4].

Poduszki ratownicze można zaliczyć do grupy amortyzatorów pneumatycznych, które zostały specjalnie zaprojektowane do asekuracji podczas upadku osób z wysokości. Najbardziej znanym przykładem tego typu urządzeń są samochodowe poduszki powietrzne. Wykorzystuje się je w celu ochrony pasażerów podczas kolizji. W literaturze przedmiotu znaleźć można liczne raporty i publikacje, które dotyczą symulacji numerycznych oraz badań eksperymentalnych zachowania poduszek powietrznych w różnorodnych warunkach [5].

Mimo wieloletnich badań i doświadczeń w tej dziedzinie, poduszki powietrzne nadal są obiektem intensywnych badań i ulepszeń, co wynika z konieczności dalszej poprawy ich skuteczności oraz bezpieczeństwa użytkowników [6]. Wprowadzane innowacyjne rozwiązania mają na celu zwiększenie ich efektywności oraz minimalizowanie ryzyka negatywnych skutków ich działania. Badania naukowe skupiają się między innymi na możliwych zagrożeniach związanych z niewłaściwym użyciem poduszek powietrznych, takich jak przypadki dzieci-pasażerów, które mogą być narażone na obrażenia w wyniku działania standardowych poduszek samochodowych [7].

Podobne urządzenia opracowywane są także do ochrony indywidualnej pieszych, jak na przykład systemy poduszek powietrznych, które mają za zadanie chronić pieszego w przypadku kolizji z pojazdem [8]. Pneumatyczne pochłaniacze energii znalazły szerokie zastosowanie nie tylko w motoryzacji, ale również w innych wymagających dziedzinach, takich jak:

- systemy zawieszenia pojazdów, gdzie zapewniają skuteczne pochłanianie energii wynikającej z jazdy po nierównych nawierzchniach [9];
- systemy lądowania bezzałogowych statków powietrznych (UAV), które muszą być wyposażone w technologie pozwalające na bezpieczne i miękkie lądowanie [10];
- lądowniki planetarne, gdzie pneumatyczne amortyzatory pełnią kluczową rolę w ochronie cennego ładunku podczas lądowania na powierzchniach obcych planet [11].

The first jump cushion in Poland that received a formal approval document issued by the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP) was approved for use on 7 June 1993. It was made by Klaus Esser KG. This certification was a key step in the development of rescue systems and provided the basis for the formal introduction of this technology as the standard equipment of rescue units in Poland.

It must be noted that, despite their long history, jump cushions continue to be the object of research intended to optimize them to improve their effectiveness and safety. Particular attention is paid to an analysis of the biomechanics of the g-forces acting on the human body falling on jump cushion and to research on materials used to make jump cushions so as to ensure the most effective energy absorption. A correct understanding and further development of this technology can contribute to an improved safety of those evacuated and to a reduction in the number of injuries associated with falling from a height.

The following legislation and standards are the normative documents that specify the requirements and research methods for jump cushions:

- DIN 14151-3-2024-04 [13], a standard applicable in the German market that concerns jump cushions with a pneumatic frame of the 16 type, i.e. with the maximum jump height of 16 m;
- Annex to the Regulation of the Minister of Interior and Administration of 27 April 2010 amending the regulation on a list of products serving to ensure public safety or health and life as well as life protection, as well as the rules of issuing approvals for use of those products [14], which applies in the Polish market and concerns jump cushions with a pneumatic frame that are filled from cylinders for cylinder breathing apparatuses and jump cushions without a frame filled with fans, without identifying the maximum jump height.

The issues related to the safety and health of the service of firefighters of the State Fire Brigade are regulated, among others, by the Regulation of the Minister of Interior and Administration of 31 August 2021 on the detailed safety and health conditions for the service of firefighters of the State Fire Brigade [14]. That document specifies the detailed requirements aimed to ensure the safety of firefighters during rescue operations, training and exercise alike.

One of the important aspects included in the regulation are the rules applicable to jumping onto the jump cushions, which are discussed in detail in Chapter 5 (of part IX) titled *Service safety and health requirements during rescue operations at a height or below the ground level and during exercises and training at a height or below the ground level*. Particular attention is paid to the limitations on the conduct of exercises. According to sec. 48(2)(4), ‘exercises and training shall not be conducted in the case of activities related to the performance of practice jumps onto jump cushions’.

An analysis of these provisions leads to the conclusion that they limit, to a significant extent, or even prevent conducting practical training related to making rescue jumps. Exercises with the use of jump cushions are eliminated primarily due to the desire to minimize the risk of injury to firefighters during the training, but

Mimo ogromnego znaczenia poduszek ratowniczych dla bezpieczeństwa i ochrony życia, brakuje systematycznych badań, które traktowałyby ratownicze poduszki powietrzne w sposób w pełni naukowy. Dotychczasowe prace nie uwzględniają kompleksowo ich właściwości i wpływu na bezpieczeństwo ewakuacji z wysokości. Skokochrony, jako specjalistyczne poduszki ratownicze, są przeznaczone do pochłaniania energii kinetycznej spadającego ciała, redukując przeciążenia i łagodząc skutki upadku. Ich głównym zadaniem jest zmniejszenie ryzyka urazów i ratowanie życia osób ewakuowanych w sytuacjach kryzysowych, takich jak pożary wysokich budynków [12].

W Polsce pierwszy skokochron, który otrzymał formalny dokument dopuszczający wydany przez Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej (CNBOP), został zatwierdzony do użytkowania 7 czerwca 1993 roku. Wyprodukowała go firma Klaus Esser KG. Certyfikacja była kluczowym krokiem w rozwoju systemów ratowniczych oraz stanowiła podstawę do formalnego wprowadzenia tej technologii do standardowego wyposażenia jednostek ratowniczych w kraju.

Należy zauważyć, że skokochrony, mimo swojej długiej historii, są nadal obiektem badań mających na celu ich optymalizację pod kątem skuteczności i bezpieczeństwa. Szczególną uwagę poświęca się analizie biomechaniki przeciążeń oddziałujących na ciało człowieka w trakcie upadku na skokochron oraz badaniu materiałów wykorzystywanych do ich produkcji, aby zapewnić jak najskuteczniejszą absorpcję energii. Właściwe zrozumienie i dalszy rozwój tej technologii może przyczynić się do zwiększenia bezpieczeństwa osób ewakuowanych i zredukowania liczby urazów związanych z upadkami z wysokości.

Dokumentami normatywnymi określającymi wymagania oraz metody badawcze dla skokochronów są następujące przepisy i normy:

- norma DIN 14151-3-2024-04 [13], która jest stosowana na rynku niemieckim i dotyczy skokochronów ze stelażem pneumatycznym typu 16 tj. o maksymalnej wysokości skoku 16 m;
- załącznik do Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27 kwietnia 2010 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania [14], który jest stosowany na rynku krajowym i dotyczy skokochronów ze stelażem pneumatycznym napełnianym z butli do aparatów powietrznych butlowych oraz skokochronów bez stelaża napełnianych za pomocą wentylatorów, bez określenia maksymalnej wysokości skoku.

Kwestie bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej regulowane są między innymi przez Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 sierpnia 2021 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej [14]. Dokument ten określa szczegółowe wymagania mające na celu zapewnienie bezpieczeństwa strażakom zarówno podczas działań ratowniczych, jak i szkoleń oraz ćwiczeń.

Jednym z istotnych aspektów ujętych w rozporządzeniu są zasady dotyczące skoków na skokochrony, które zostały

it also results in a limitation of the possibility of practical preparation of rescuers for emergency situations, in which such skills may be necessary.

The human body poorly tolerates long g-forces, and their duration has a key impact on the intensity of the negative effects. People much better withstand lateral g-forces than those acting along the body (from the head to the feet). This is during take-off astronauts are in a laying position in the take-off modules, which minimizes the g-forces acting on the body.

From the standpoint of biomechanics, the mechanical properties of structures such as bones, cartilages, ligaments, tendons and muscles, which transfer the forces produced by the g-forces, are closely related to their function. The strength of those structures is very different depending on their location and role in the load-transfer system [15]. Particularly important are the delicate organs of the nervous system and the senses, such as the brain and the eyeballs, which are susceptible to blood pressure changes caused by the direction and force of the g-force. When blood flows into those organs, the risk of brain haemorrhages or haemorrhages into the eyeballs, which can lead to a permanent damage to the eyesight or a risk to life [2–16].

In the daily life, g-forces can be seen, e.g., during elevator rides, sudden braking or acceleration of a vehicle, while driving in bends (e.g. during drifting), as well as during in-flight turbulences. However, the greatest g-forces occur in extreme situations, such as traffic accidents, plane crashes and aviation manoeuvres. In such cases, multi-organ injuries often occur [2–17].

In principle, people can withstand g-forces of up to approx. 5G, but this range of tolerance can be broadened by targeted physical training and the use of appropriate safeguards. For example in the 1960s, American military and NASA conducted numerous studies to determine the limits of human tolerance of g-forces. The experiments conducted involved over 100,000 10-second tests in which people were subjected to g-forces of up to 25G for 1.5 seconds and 18G for almost 2.5 minutes. These studies played a key role in the design of anti-gravity suits for pilots and astronauts.

However, there is limited and unequivocal literature data on the response of the human body to g-forces in different conditions. There are no quantitative methods to identify the mutual relationship between the intensity of the g-force stimulus and the physiological responses of the human body [17–18]. Most studies focus on the specific group of pilots and astronauts who undergo special training, which makes them different from the average man forced to act in extreme situations, e.g. jumping onto a jump cushion in situations where their lives are at risk.

The highest g-forces, albeit of short duration, occur in situations such as being catapulted from a plane and reach values of up to 20–22G (in the case of some Soviet designs) or 12–14G (in Western-made military planes). During aviation manoeuvres, for example competitive aerobatics or air fight, g-forces may reach up to 10G [18, s. 358], [19–20]. High g-forces are also present during fast recovery of a plane from a dive and during manoeuvres performed at high speed in bends. Higher levels of tolerance to such g-forces result from physiological adaptation of the body and the use of proper protections [19–23].

szczegółowo omówione w Rozdziale 5 (działu IX), zatytułowanym: *Wymagania bezpieczeństwa i higieny służby podczas prowadzenia akcji ratowniczej na wysokości lub poniżej poziomu terenu oraz ćwiczeń i szkoleń na wysokości lub poniżej poziomu terenu*. Szczególną uwagę zwraca się na ograniczenia w zakresie przeprowadzania ćwiczeń. Zgodnie z §48 ust. 2 pkt 4 „ćwiczeń lub szkoleń nie prowadzi się w przypadku działań związanych z wykonywaniem skoków ćwiczebnych na skokochrony”.

Analiza powyższych zapisów pozwala stwierdzić, że regulacje te w znacznym stopniu ograniczają, a wręcz uniemożliwiają przeprowadzanie praktycznych szkoleń związanych z wykonywaniem skoków ratowniczych. Wyeliminowanie ćwiczeń z wykorzystaniem skokochronów wynika przede wszystkim z dążenia do zminimalizowania ryzyka obrażeń u strażaków podczas szkoleń, jednak prowadzi również do ograniczenia możliwości praktycznego przygotowania ratowników do sytuacji awaryjnych, w których takie umiejętności mogą być niezbędne.

Ciało ludzkie źle znosi długotrwałe przeciążenia, a czas ich oddziaływania odgrywa kluczową rolę w intensywności negatywnych skutków. Człowiek jest znacznie bardziej odporny na przeciążenia boczne niż te działające wzdłuż osi ciała (głowa-stopy). Właśnie z tego powodu kosmonauci podczas startów znajdują się w pozycji leżącej w modułach startowych, co minimalizuje obciążenie organizmu.

Z punktu widzenia biomechaniki właściwości mechaniczne struktur, takich jak kości, chrząstki, więzadła, ścięgna i mięśnie, które przenoszą siły wynikające z przeciążeń, są ściśle związane z ich funkcją. Wytrzymałość tych struktur jest bardzo zróżnicowana w zależności od ich położenia i roli w układzie przenoszenia obciążeń [15]. Szczególne znaczenie mają delikatne narządy układu nerwowego i zmysłów, takie jak mózg i gałki oczne, które są podatne na zmiany ciśnienia krwi spowodowane kierunkiem i siłą przeciążeń. Przy napływie krwi do tych narządów wzrasta ryzyko krwotoków mózgowych lub wylewów do gałek ocznych, co może prowadzić do trwałego uszkodzenia wzroku lub zagrożenia życia [2–16].

W codziennym życiu stany przeciążenia można zaobserwować m.in. podczas jazdy windą, gwałtownego hamowania lub przyspieszania pojazdu, w trakcie zakrętów (np. drifting) lub podczas turbulencji w czasie podróży samolotem. Największe przeciążenia występują jednak w sytuacjach ekstremalnych, takich jak wypadki drogowe, katastrofy lotnicze, czy manewry lotnicze. W takich przypadkach często dochodzi do obrażeń wielonarządowych [2–17].

Zasadniczo człowiek jest w stanie wytrzymać przeciążenia do około 5G, jednak tolerancja ta może być zwiększona dzięki ukierunkowanemu treningowi fizycznemu oraz zastosowaniu odpowiednich zabezpieczeń. Na przykład w latach 60. XX wieku, amerykańskie wojsko i NASA przeprowadziły liczne badania w celu określenia granic ludzkiej wytrzymałości na przeciążenia. W eksperymentach przeprowadzono ponad sto tysięcy 10-sekundowych testów, poddając badanych przeciążeniom o wartości do 25G przez 1,5 sekundy oraz 18G przez prawie 2,5 minuty. Badania te odegrały kluczową rolę w projektowaniu kombinezonów anty-grawitacyjnych dla pilotów i astronautów.

Istnieją jednak ograniczone i niejednoznaczne dane literaturowe dotyczące reakcji organizmu na przeciążenia w różnych warunkach. Brakuje metod ilościowych, które uchwyciłyby

According to the results of studies on the behaviour of pilots, the experimental models used are often based on simplified cause and effect relationships. 'One cause – one effect' relationships are analysed most often, where the exposure to a specific level of acceleration results in a single reaction in the form of selected physiological or mental parameters of the tested persons.

The tolerance of the human body to acceleration can be increased by specialized, targeted training programs that use modern methods and forms of physical training. However, in the case of the studies discussed herein, the performance of such programs is subject to significant formal restrictions arising from the legislation in force, which significantly hinders the implementation of those strategies in practice. These restrictions prevent conducting comprehensive training under conditions that imitate the real g-force scenarios, which can influence the quality of preparation of the staff for acting under extreme acceleration conditions.

współzależności między intensywnością bodźca przeciążeniowego a reakcjami fizjologicznymi organizmu [17–18]. Większość badań skupia się na specyficznej grupie, jaką są piloci i astronauta, którzy przechodzą specjalistyczne treningi, co różni ich od przeciętnego człowieka zmuszonego do działania w ekstremalnych sytuacjach, np. skoków na skokochron w sytuacji zagrożenia życia.

Najwyższe przeciążenia, choć krótkotrwałe, występują w sytuacjach, takich jak katapultowanie z samolotu, osiągając wartości do nawet 20–22G (w przypadku niektórych radzieckich konstrukcji) oraz 12–14G (w zachodnich samolotach bojowych). Podczas manewrów lotniczych, na przykład wyczynowej akrobacji lotniczej czy walki powietrznej, przeciążenia mogą sięgać do 10G [18, s. 358], [19–20]. Duże przeciążenia występują również podczas szybkiego wyprowadzania samolotu z lotu nurkowego, a także przy manewrach wykonywanych z dużą prędkością na łukach. Wyższe wartości tolerancji na takie przeciążenia wynikają z fizjologicznej adaptacji organizmu oraz stosowania odpowiednich zabezpieczeń [19–23].

Zgodnie z wynikami badań dotyczących zachowania pilotów, stosowane modele doświadczalne często opierają się na uproszczonych zależnościach przyczynowo-skutkowych. Najczęściej analizuje się relacje typu „jedna przyczyna – jeden skutek”, gdzie ekspozycja na określony poziom przyspieszenia skutkuje pojedynczą reakcją w postaci zmian wybranych parametrów fizjologicznych lub psychicznych badanych osób.

Tolerancję organizmu ludzkiego na przyspieszenia można zwiększyć poprzez specjalistyczne, ukierunkowane programy treningowe, które wykorzystują nowoczesne metody i formy treningu fizycznego. Jednakże w przypadku omawianych badań, realizacja takich programów napotyka na istotne ograniczenia formalne wynikające z obowiązujących regulacji, co znacząco utrudnia wdrożenie tych strategii w praktyce. Ograniczenia te uniemożliwiają przeprowadzanie kompleksowych szkoleń w warunkach odwzorowujących realne scenariusze przeciążeń, co może wpływać na jakość przygotowania personelu do działania w ekstremalnych warunkach przyspieszenia.

Methodology and results of the study

The main objective of the study is to analyse the effectiveness of the shock absorption of jump cushions. This objective can be achieved by studying the value of the g-force acting on the human body (dummy) during a free fall onto a jump cushion with the maximum rescue height allowed by its manufacturer. The research results help formulate conclusions regarding the effectiveness of the shock absorption of jump cushions.

Purpose of the study – the importance of the g-force phenomenon in the evaluation of the effectiveness of jump cushions

The phenomenon of g-force is crucial to the evaluation of the safety and effectiveness of the operation of jump cushions during evacuation from tall structures. This is due to the fact that

Metodologia i wyniki badań

Głównym celem prowadzonych badań jest analiza skuteczności amortyzacji skokochronów. Osiągnięcie opisanego celu jest możliwe dzięki zbadaniu parametru, jakim jest wielkość przeciążeń oddziałujących na ciało człowieka (manekin) w czasie swobodnego upadku na skokochron z maksymalnej dopuszczonej przez producenta wysokości ratowniczej. Wyniki badań pozwolą sformułować wnioski dotyczące skuteczności amortyzacji skokochronów.

Cel badań – znaczenie zjawiska przeciążenia w ocenie skuteczności skokochronów

Zjawisko przeciążenia odgrywa kluczową rolę w ocenie bezpieczeństwa i skuteczności działania skokochronów podczas ewakuacji z wysokości. Wynika to z tego, że przeciążenie wpływa

g-forces impact both the biomechanics of the human body when it stops and the design of the jump cushion. In the context of life and health protection, the g-force determines the risk of injury and the effectiveness of absorption of the kinetic energy during the fall.

The g-force during the fall is the force acting on the body at the time of deceleration, expressed as a multiple of the gravitational acceleration. The physical parameters characteristic of a free fall that are crucial for the minimization of the risk to the health or life of an evacuated person are:

- the final velocity of the body before the impact, which depends on the height of the fall and the gravitational acceleration;
- the stopping time, which affects the value of the g-force; the shorter the deceleration time, the larger the g-force;
- distribution of the forces acting on the body – an even distribution of the forces reduces the load on the critical points, such as the spine or the internal organs [24].

During a fall, the body is exposed to abrupt acceleration changes that can lead to injuries. In the case of a fall onto hard and inflexible surfaces (e.g. asphalt, concrete, or lawn), the stop time is relatively short (several ms), which can result in large acceleration values. The task of a jump cushion is to reduce the acceleration, preferably to a level tolerated by the human body, which is usually no more than 10–15 g. Exceeding this value significantly increases the risk of:

- injuries of internal organs, such as haemorrhages and injuries to the heart and the lungs;
- fractures of the spine and other bones as a result of sudden stopping;
- neurological effects, such as loss of consciousness or injuries to the brain caused by abrupt acceleration or deceleration.

Jump cushions are designed to reduce the g-force to safe levels. This process is implemented by:

- extending the deceleration time:
 - the use of flexible materials to make the jump cushion (e.g. pneumatic coatings) that make it possible to drop the body gradually;
 - filling the jump cushion with air, which works like a shock absorber and extends the time during which the body decelerates;
- even distribution of the forces:
 - the use of a jump cushion design that makes the forces to be distributed on a larger surface, thus minimizing the pressure exerted on the body and reducing the risk of local damage to soft tissues and bones.

zarówno na biomechanikę ludzkiego ciała w momencie jego zatrzymania, jak i na konstrukcję samego skokochronu. W kontekście ochrony życia i zdrowia, przeciążenie determinuje ryzyko wystąpienia obrażeń, a także skuteczność absorpcji energii kinetycznej w trakcie upadku.

Przeciążenie podczas upadku to siła działająca na ciało w momencie wyhamowania, wyrażana jako wielokrotność przyspieszenia ziemskiego. Parametry fizyczne charakterystyczne dla swobodnego upadku, kluczowe dla zminimalizowania ryzyka utraty zdrowia lub życia osoby ewakuowanej, to:

- prędkość końcowa ciała przed uderzeniem, zależna od wysokości upadku i przyspieszenia ziemskiego;
- czas zatrzymania – wpływający na stopień przeciążenia; im krótszy czas wyhamowania, tym wyższe przeciążenie;
- rozkład sił na ciało – równomierne rozproszenie sił zmniejsza obciążenie na newralgiczne punkty, takie jak kręgosłup czy narządy wewnętrzne [24].

Podczas upadku organizm jest narażony na gwałtowne zmiany przyspieszenia, które mogą prowadzić do urazów. W razie upadku na twarde, mało elastyczne powierzchnie (np. asfalt, beton, trawnik), czas zatrzymania jest stosunkowo niewielki (kilka ms), co może generować wysokie wartości przeciążenia. Zadaniem skokochronu jest zmniejszenie przeciążenia, najlepiej do poziomu tolerowanego przez ludzkie ciało, zwykle wynoszącego nie więcej niż 10–15 g. Przekroczenie tej wartości znacząco zwiększa ryzyko powstania:

- urazów narządów wewnętrznych, takich jak krwotoki czy uszkodzenia serca i płuc;
- złamań kręgosłupa i innych kości w wyniku nagłego zatrzymania;
- efektów neurologicznych, takich jak utrata przytomności lub uszkodzenia mózgu spowodowane nagłym przyspieszeniem lub hamowaniem.

Skokochrony są projektowane tak, aby zmniejszyć przeciążenie do bezpiecznych poziomów. Proces ten odbywa się przez:

- wydłużenie czasu wyhamowania:
 - zastosowanie elastycznych materiałów skokochronu (np. powłok pneumatycznych), które pozwalają na stopniowe zatrzymanie ciała;
 - jak amortyzator, zwiększając czas, w którym ciało wyhamowuje;
- równomierne rozkładanie sił:
 - zastosowanie konstrukcji skokochronu sprawiającej, że siły są rozprowadzane po większej powierzchni, minimalizując nacisk na ciało i zmniejszając ryzyko lokalnych uszkodzeń tkanek miękkich i kości.

Scope of the study

The study included a series of test in which a dummy weighing 40 and 90 kg, imitating a human body, was dropped onto the centre of the drop surface of the jump cushion. The dummies, equipped with g-force sensors, were dropped from the height of 16 meters. During the drops, the data from the g-force sensors was registered for further analysis.

Zakres badań

Badania obejmowały przeprowadzenie serii zrzutów na środek powierzchni zeskoku skokochronu manekinów o masie 40 i 90 kg odwzorowujących ciało człowieka. Manekiny, wyposażone w czujnik przeciążenia, zrzucone były z wysokości 16 metrów. Podczas zrzutów rejestrowano dane z czujników przeciążenia celem ich dalszej analizy.

Samples

The study was conducted on four types of jump cushions from two manufacturers of such equipment present in the Polish market.

Próbki

Badania przeprowadzono na czterech typach skokochronów pochodzących od dwóch producentów tego typu urządzeń dostępnych na rynku polskim.

Characteristics of jump cushion no. 1

Charakterystyka skokochronu nr 1



Figure 1. Unfolded jump cushion no. 1
Rycina 1. Rozłożony skokochron nr 1

Source: CNBOP-PIP's own archive.

Źródło: Archiwum własne CNBOP-PIB.

The frame of the jump cushion is composed of 12 tubes with a circular cross-section, mutually connected to form a cube, made of a fabric coated on both sides with a rubber mixture. After the tubes are filled with air, they form a skeleton of the cuboid constituting the load-bearing frame for the case of the jump cushion walls. The outside case made from a fabric coated with a rubber mixture is attached to the frame. The centre of the drop surface is marked on the case with a black circle on a white background. The inside chamber of the jump cushion is divided in half with a horizontal partition made from a synthetic fibre fabric. A rigid metal end piece with a stop valve for filling with air from compressed air cylinders at the pressure of 200 or 300 bars is connected to the lower tube of the frame. To protect the cylinder against damage, a case covering the cylinder, lined on the inside with a foamed material, is sewn to the lower case of the jump cushion. The jump cushion is equipped with two manually actuated valves for releasing air from the frame, which are located in the horizontal tubes, lower and upper, on the side of the cylinder connection. In the upper horizontal tube of the frame there is a safety valve, which is protected against damage with a plastic cover. In the casing of the jump cushion there are 28 openings in each corner, with the diameter of 60 mm, the purpose of which is to release air from the inside of the jump cushion after the rescued person jumps onto it. Once filled with air, the jump cushion is transported by handles made from polyester tape, fastened to the vertical corner tubes of the frame; there is one of them on each corner of the jump cushion and two on each of its side walls. The lower edge of the side parallel to the

Stelaż skokochronu stanowi 12 połączonych ze sobą w kształcie sześcienu rur o przekroju kołowym, wykonanych z tkaniny dwustronnie powlekanej mieszanką gumową. Po napełnieniu rur powietrzem tworzą one szkielet prostopadłościanu stanowiącego ramę nośną dla powłoki ścian skokochronu. Do stelaża przyklejona jest powłoka zewnętrzna wykonana z tkaniny powlekanej mieszanką gumową. Środek pola skoku skokochronu oznaczony jest na powłoce kołem koloru czarnego na białym tle. Wewnątrz komora skokochronu przedzielona jest na pół poziomą przegrodą wykonaną z tkaniny z włókien syntetycznych. Do dolnej rury stelaża zamocowana jest sztywna, metalowa końcówka z zaworem zwrotnym do napełniania powietrzem z butli na sprężone powietrze o ciśnieniu 200 lub 300 bar. W celu zabezpieczenia butli przed uszkodzeniem, do dolnej powłoki skokochronu przszyty jest pokrowiec osłaniający butlę, wyłożony od wewnątrz materiałem spienionym. Skokochron wyposażono w dwa zawory do opróżniania stelaża z powietrza, uruchamiane ręcznie, umieszczone w poziomych rurach, dolnej i górnej, od strony przyłącza do butli. W górnej poziomej rurze stelaża zamocowano zawór bezpieczeństwa, osłonięty przed uszkodzeniem pokrywą z tworzywa sztucznego. W powłoce skokochronu, w każdym narożniku wykonano po 28 otworów o średnicy ok. 60 mm mających na celu odprowadzenie powietrza ze środka skokochronu po upadku osoby ratowanej. Do transportu napełnionego powietrzem skokochronu służą uchwyty wykonane z taśmy poliestrowej, przymocowane do pionowych narożnych rur stelaża, w liczbie – po jednym na każdym z narożników skokochronu oraz po dwa uchwyty w każdej bocznej ścianie skokochronu.

place where the air cylinder is fastened has a pocket attached, which is filled with sandbags. Its purpose is to stabilize the jump cushion at the time of the fall of the rescued person. The approximate outside dimensions of the jump cushion, when filled to the operating pressure, are:

- 3350 x 3340 mm (base),
- 1550 mm (height).

Do dolnej krawędzi w boku równoległym do miejsca mocowania butli z powietrzem zamocowano kieszeń wypełnioną workami z piaskiem. Służy ona do stabilizacji skokochronu w momencie upadku osoby ratowanej. Wymiary zewnętrzne skokochronu po napełnieniu go do ciśnienia roboczego wynoszą około:

- 3350 x 3340 mm (podstawa),
- 1550 mm (wysokość).

Characteristics of jump cushion no. 2

Charakterystyka skokochronu nr 2



a)



b)

Figure 2. Unfolded jump cushion no. 2: a) side view, b) top view

Rycina 2. Rozłożony skokochron nr 2: a) widok z boku, b) widok z góry

Source: CNBOP-PIP's own archive.

Źródło: Archiwum własne CNBOP-PIB.

The frame of the jump cushion consists of 12 mutually connected tubes forming a square regular prism, made of a polyester fabric coated on two sides with rubber. After the tubes are filled with air, they form the load-bearing frame for the case of the jump cushion walls. The side walls as well as the top and bottom surfaces, made of polyester fabric coated on one side with rubber, are glued to the frame. The centre of the drop surface of the jump cushion is marked on the case in blue. The inside chamber of the jump cushion is divided into two parts with a horizontal partition (central shelf). The design of the partition enables the flow of air inside the chambers of the jump cushion. In the lower part of the frame, there is a rigid connection for compressed air cylinders used to fill the frame. The terminal of the connection makes it possible to connect a compressed air cylinder with a filling pressure of 300 bars. To prevent damage to the cylinder, a case covering the cylinder is sewn to the lower tube and the case of the jump cushion. The jump cushion is equipped with two valves for releasing air from the frame, which are located, one each, in the horizontal tubes, lower and upper, on the side of the cylinder connection. In the upper horizontal component of the frame (on the side of the inner chamber), a safety valve is installed. There are 36 openings in each of the four side walls. The jump cushion, filled with air, can be transported using 12 carrying handles fastened to the horizontal tubes (1 on each tube) and to the external side wall fabric (2 on each wall). A counterbalance (a sandbag weighing 6.2 kg) is sewn in the wall of the jump cushion on the side opposite to that where the cylinder is installed.

Stelaż skokochronu składa się z 12 połączonych ze sobą (w kształcie graniastopuła prawidłowego czworokątnego) rur, wykonanych z tkaniny poliestrowej dwustronnie powlekanej gumą. Po napełnieniu rur powietrzem tworzą one ramę nośną dla powłoki ścian skokochronu. Do stelaża przyklejone są ściany boczne oraz powierzchnia górna i powierzchnia dolna, które są wykonane z tkaniny poliestrowej jednostronnie powlekanej gumą. Środek pola skoku skokochronu oznaczono na powłoce kołem w kolorze niebieskim. Wewnątrz komora skokochronu przedzielona jest na dwie części poziomą przegrodą (półka środkowa). Konstrukcja przegrody umożliwia przepływ powietrza wewnątrz komór skokochronu. W dolnej części stelaża zamocowano sztywne przyłącze służące do podłączenia butli ze sprężonym powietrzem napełniającej stelaż. Końcówka przyłącza umożliwia podłączanie butli ze sprężonym powietrzem o ciśnieniu napełniania 300 bar. W celu zabezpieczenia butli przed uszkodzeniem do dolnej rury i powłoki skokochronu przyszyto pokrowiec osłaniający butle. Skokochron wyposażono w dwa zawory do opróżniania stelaża z powietrza, umieszczone po jednej sztuce w poziomych rurach dolnej i górnej od strony przyłącza do butli. W górnym poziomym elemencie stelaża (od strony wewnętrznej komory) zamocowano zawór bezpieczeństwa. W powłoce każdej z czterech ścian bocznych wykonano po 36 otworów. Do transportu napełnionego powietrzem skokochronu służy 12 uchwytów nośnych przymocowanych do pionowych rur (po 1 szt. na każdej rurze) oraz do zewnętrznej tkaniny ściany bocznej (po 2 szt. na każdej ścianie). W ścianie skokochronu, po przeciwnej stronie,

The approximate outside dimensions of the jump cushion, when filled to the operating pressure, are:

- 3440 x 3390 mm (base),
- 1700 mm (height).

gdzie zamontowano butlę wszyto tzw. przeciwwagę (w formie worka z piaskiem o masie 6,2 kg).

Wymiary zewnętrzne skokochronu po napełnieniu do ciśnienia roboczego wynoszą:

- ok. 3440 x 3390 mm (podstawa),
- ok. 1700 mm (wysokość).

Characteristics of jump cushion no. 3

Charakterystyka skokochronu nr 3

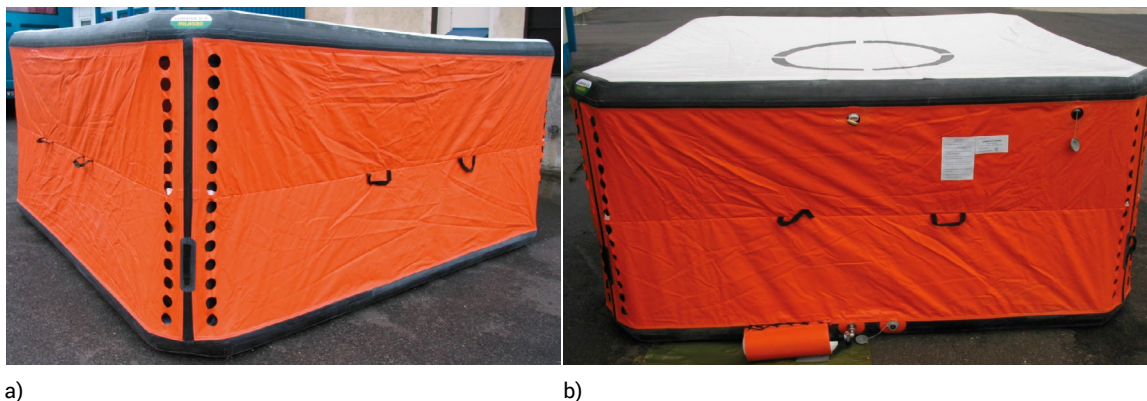


Figure 3. Unfolded jump cushion no. 3: a) side view, b) top view
Rycina 3. Rozłożony skokochron nr 3: a) widok z boku, b) widok z góry

Source: CNBOP-PIP's own archive.

Źródło: Archiwum własne CNBOP-PIB.

Similar to jump cushions no. 1 and no. 2 described above, jump cushion no. 3 consists of 12 mutually connected tubes with a circular cross-section, forming a cube, made from a fabric coated on two sides with a rubber mixture. After the tubes are filled with air, they form a skeleton of the cuboid constituting the load-bearing frame for the case of the jump cushion walls. The outside case made from a fabric coated with a rubber mixture is attached to the frame. The centre of the drop surface is marked on the case with a black circle on a white background. The inside chamber of the jump cushion is divided in half with a horizontal partition made from a synthetic fibre fabric. A rigid metal end piece with a stop valve for filling with air from compressed air cylinders at the pressure of 200 or 300 bars is connected to the lower tube of the frame. To protect the cylinder against damage, a case covering the cylinder, lined on the inside with a foamed material, is sewn to the lower case of the jump cushion. The jump cushion is equipped with two manually actuated valves for releasing air from the frame, which are located in the horizontal tubes, lower and upper, on the side of the cylinder connection. In the upper horizontal tube of the frame there is a safety valve, which is protected against damage with a plastic cover. In the casing of the jump cushion there are 28 openings in each corner, with the diameter of 60 mm, the purpose of which is to release air from the inside of the jump cushion after the rescued person jumps onto it. Once filled with air, the jump cushion is transported by handles made from 4 cm wide polyester tape, fastened to the vertical corner tubes of the frame; there is one of them on each corner of the jump cushion and two on each of its side walls.

Podobnie jak w przypadku opisanych wcześniej modeli 1 i 2, skokochron 3 opiera się na konstrukcji 12 połączonych ze sobą w kształcie sześciangu rur o przekroju kołowym wykonanych z tkaniny dwustronnie powlekanej mieszanką gumową. Po napełnieniu rur powietrzem tworzą one szkielet prostopadłościanu stanowiącego ramę nośną dla powłoki ścian skokochronu. Do stelaża przyklejona jest powłoka zewnętrzna wykonana z tkaniny powlekanej mieszanką gumową. Środek pola skoku skokochronu oznaczony jest na powłoce kołem koloru czarnego na białym tle. Wewnątrz komora skokochronu przedzielona jest na pół poziomą przegrodą wykonaną z tkaniny z włókien syntetycznych. Do dolnej rury stelaża zamocowana jest sztywna, metalowa końcówka z zaworem zwrotnym do napełniania powietrzem z butli na sprężone powietrze o ciśnieniu 200 lub 300 bar. W celu zabezpieczenia butli przed uszkodzeniem, do dolnej powłoki skokochronu przyszyty jest pokrowiec osłaniający butlę, wyłożony od wewnątrz materiałem spienionym. Skokochron wyposażono w dwa zawory do opróżniania stelaża z powietrza, uruchamiane ręcznie, umieszczone w poziomych rurach, dolnej i górnej, od strony przyłącza do butli. W górnej poziomej rurze stelaża zamocowano zawór bezpieczeństwa, osłonięty przed uszkodzeniem pokrywą z tworzywa sztucznego. W powłoce skokochronu, w każdym narożniku wykonano po 28 otworów o średnicy ok. 60 mm mających na celu odprowadzenie powietrza ze środka skokochronu po upadku osoby ratowanej. Do transportu napełnionego powietrzem skokochronu służą uchwyty wykonane z taśmy poliesterowej o szerokości 4 cm, przymocowane do pionowych narożnych rur stelaża, w liczbie: po jednym na każdym

A pocket, filled with sandbags, is fastened to the lower edge on the side parallel to the place where the air cylinder is fastened; its role is to stabilize the jump cushion when a rescued person drops onto it. The approximate outside dimensions of a jump cushion filled with air to the operating pressure are:

- 3,350 x 3,350 mm (base),
- 1,550 mm (height).

z narożników skokochronu oraz po dwa uchwyty w każdej bocznej ścianie skokochronu. Do dolnej krawędzi na boku równoległym do miejsca mocowania butli z powietrzem przytwierdzono kieszeń wypełnioną workami z piaskiem, której zadaniem jest stabilizowanie skokochronu w momencie upadku osoby ratowanej. Przybliżone wartości wymiarów zewnętrznych skokochronu po napełnieniu do ciśnienia roboczego są następujące:

- 3350 x 3350 mm (podstawa),
- 1550 mm (wysokość).

Characteristics of jump cushion no. 4



a)

Figure 4. Unfolded jump cushion no. 4: a) side view, b) top view
Rycina 4. Rozłożony skokochron nr 4: a) widok z boku, b) widok z góry

Source: CNBOP-PIP's own archive.

Źródło: Archiwum własne CNBOP-PIB.

The frame of jump cushion no. 4 is composed of 24 tubes with circular cross-section connected to each other to form a prism with an octagonal base, made of a fabric coated on both sides with a rubber mixture. After the tubes are filled with air, they form a skeleton of the prism constituting the load-bearing frame for the case of the jump cushion walls. The outside case made from a fabric coated with a rubber mixture is attached to the frame. The centre of the drop surface is marked on the case with a black circle on a white background. The inside chamber of the jump cushion is divided in half with a horizontal partition made from a synthetic fibre fabric. A rigid metal end piece with a stop valve for filling with air from compressed air cylinders at the pressure of 200 or 300 bars is connected to the lower tube of the frame. To protect the cylinder against damage, a case covering the cylinder, lined on the inside with a foamed material, is sewn to the lower case of the jump cushion. The jump cushion is equipped with two manually actuated valves for releasing air from the frame, which are located in the horizontal tubes, lower and upper, on the side of the cylinder connection. In the upper horizontal tube of the frame there is a safety valve, which is protected against damage with a plastic cover. In the jump cushion case, in the four side walls, there are 60 openings to release air

Charakterystyka skokochronu nr 4



b)

Stelaż skokochronu nr 4 stanowi 24 połączonych ze sobą w kształcie graniastostupa o podstawie ośmiokąta rur o przekroju kołowym wykonanych z tkaniny dwustronnie powlekanej mieszanką gumową. Po napełnieniu rur powietrzem, tworzą one szkielet graniastostupa stanowiącego ramę nośną dla powłoki ścian skokochronu. Do stelaża przyklejona jest powłoka zewnętrzna wykonana z tkaniny powlekanej mieszanką gumową. Środek pola skoku skokochronu oznaczony jest na powłoce kołem koloru czarnego na białym tle. Wewnątrz komora skokochronu przedzielona jest na pół poziomą przegrodą wykonaną z tkaniny z włókien syntetycznych. Do dolnej rury stelaża zamocowana jest sztywna, metalowa końcówka z zaworem zwrotnym do napełniania powietrzem z butli na sprężone powietrze o ciśnieniu 200 lub 300 bar. W celu zabezpieczenia butli przed uszkodzeniem do dolnej powłoki skokochronu przyszyty jest pokrowiec osłaniający butlę, wyłożony od wewnątrz materiałem spienionym. Skokochron wyposażono w dwa zawory do opróżniania stelaża z powietrza, uruchamiane ręcznie, umieszczone w poziomych rurach, dolnej i górnej, od strony przyłącza do butli. W górnej poziomej rurze stelaża zamocowano zawór bezpieczeństwa, osłonięty przed uszkodzeniem pokrywą z tworzywa sztucznego. W powłoce skokochronu, w czterech ścianach bocznych wykonano po 60 otworów mających na

from the inside after an evacuated person drops onto the jump cushion. Once filled with air, the jump cushion is transported by handles made from polyester tape, fastened to the vertical corner tubes of the frame; there is one of them on each corner of the jump cushion and two on its four side walls. On the lower edge of the side parallel to the place where the air cylinder, there is a pocket attached, which is filled with sandbags. It is used to stabilize the jump cushion at the time of the fall of the rescued person. The average outside dimensions of the jump cushion, when filled to the operating pressure, are:

- 4585 x 4585 mm (base),
- 2280 mm (height).

Characteristics of the test equipment

In the study, dummies consisting of a torso and a head, and weighing 40 and 90 kg were used (see Figure 5). A dummy is a rigid solid filled with resin, with handles for hanging on a crane, hoist, or other similar piece of equipment that can lift the load to a specific height. In the upper part of the dummy's torso, a socket for installing an inertial measurement unit is placed.

The battery-powered inertial measurement unit (see Figure 6) has integrated acceleration sensors with indication ranges of ± 3 g, ± 6 g, ± 12 g and ± 24 g on the low side and ± 100 g, ± 200 g, ± 400 g on the high side. The sensitivity of the acceleration sensors is 0.09 mg/LSB for the ± 24 g range and 49 mg/LSB for the ± 100 g range. The measured g-force values are recorded with the accuracy of 0.0001 m/s². Moreover, the measurement unit is equipped with an angular speed sensor with indication ranges of 125 dps, 250 dps, 500 dps, 1,000 dps and 2,000 dps. The sensitivity of the angular speed sensor is 0.061 DPS/LSB for the 2000 dps range. The measurement unit allows recording data with the frequency of 1000 Hz for 7 seconds. The measurements can be started in one of two modes. In the manual mode, the measurements start immediately after the inertial measurement unit is activated. In the automatic mode, the measurement unit first detects motion along the vertical axis and then starts recording the data. The measurement unit enables an automatic selection of data from the acceleration sensors depending on the level of the recorded values. The measured data is transformed into a gravity system and filtered according to the SAE J211-1:1995.03 standard [25]. Immediately after the recording, access is provided from the WebGUI level to a preview of the data in the following charts: the RAW CHART (non-filtered acceleration), FILTERED CHART (filtered data in the IMU system), OUTPUT CHART (acceleration transformed into the gravity system after full filtration according to SAE J211-1:1995.03 [25]).

The tests were performed using a remotely controlled releasing device suspended on a crane installed in CNBOP-PIB's climbing tower (see Figure 5).

celu odprowadzenie powietrza ze środka skokochronu po upadku osoby ratowanej. Do transportu napełnionego powietrzem skokochronu służą uchwyty wykonane z taśmy poliestrowej, przymocowane do pionowych narożnych rur stelaża – po jednym na każdym z narożników skokochronu oraz po dwa uchwyty w czterech bocznych ścianach skokochronu. Do dolnej krawędzi na boku równoległym do miejsca mocowania butli z powietrzem umieszczono kieszeń wypełnioną workami z piaskiem. Ma ona służyć do stabilizacji skokochronu w momencie upadku osoby ratowanej. Uśrednione wymiary zewnętrzne skokochronu po napełnieniu do ciśnienia roboczego wynoszą:

- 4585 x 4585 mm (podstawa),
- 2280 mm (wysokość).

Charakterystyka aparatury badawczej

W badaniach wykorzystano manekiny o kształcie tułowia z głową o masie odpowiednio 40 i 90 kg (zob. ryc. 5). Manekin tworzy sztywna bryła, wypełniona żywicą z uchwytami do podwieszenia do żurawia, dźwigu lub podobnego urządzenia, umożliwiającego podniesienie obciążenia na określoną wysokość. W górnej części korpusu manekina umieszczono gniazdo do montażu układu pomiarowego.

Układ pomiarowy (zob. ryc. 6) typu IMU (ang. *inertial measurement unit*), zasilany bateryjnie, posiada wbudowane czujniki przyspieszenia o zakresie wskazań ± 3 g, ± 6 g, ± 12 g, ± 24 g w niskim zakresie oraz ± 100 g, ± 200 g, ± 400 g w zakresie wysokim. Czułość czujnika przyspieszenia wynosi 0,09 mg/LSB dla zakresu ± 24 g oraz 49 mg/LSB dla zakresu ± 100 g. Rejestracja przeciążeń odbywa się z dokładnością 0,0001 m/s². Ponadto układ pomiarowy wyposażony jest w czujnik prędkości kątowej o zakresie wskazań 125 dps, 250 dps, 500 dps, 1000 dps, 2000 dps. Czułość czujnika prędkości kątowej wynosi 0,061 DPS/LSB dla zakresu 2000 dps. Układ pomiarowy zapewnia rejestrację wyników z częstotliwością 1000 Hz przez okres 7 sekund. Rozpoczęcie pomiarów możliwe jest w dwóch trybach. Tryb ręczny zapewnia rozpoczęcie pomiarów od razu po jego uruchomieniu. Tryb automatyczny uzbrojenia wykrywa ruch w osi pionowej i po jego detekcji układ rozpoczyna rejestrację danych. Układ pomiarowy zapewnia automatyczny wybór danych z czujników przyspieszenia, w zależności od poziomu rejestrowanych wartości. Uzyskane dane są transformowane do układu grawitacyjnego oraz filtrowane zgodnie z normą SAE J211-1:1995.03 [25]. Bezpośrednio po rejestracji z poziomu WebGUI zapewniony jest dostęp do podglądu danych na wykresach, odpowiednio RAW CHART (wykres przyspieszeń niefiltrowanych), FILTERED CHART (dane filtrowane w układzie IMU), OUTPUT CHART (przyspieszenia przetransformowane do układu grawitacyjnego po pełnej filtracji zgodnie z normą SAE J211-1:1995.03 [25]).

Do badań wykorzystano zdalnie sterowane urządzenie zwalniające, podłączone do żurawia zamontowanego na wieży wspinalni CNBOP-PIB (zob. ryc. 5).

Research methodology

During the tests, the dummy was connected to a remotely controlled releasing device shown in Figures 5 and 6. Taking into account the results of previous studies [26], it was assumed that the study will involve dropping the dummies described above (40 and 90 kg) [27]¹ onto jump cushions of various types, onto the centre of their drop surface, from the height of 16 meters.



Figure 5. Dummy installed on the dropping device
Rycina 5. Manekin zamontowany na urządzeniu zrzutowym

Source: CNBOP-PIP's own archive.

Źródło: Archiwum własne CNBOP-PIB.

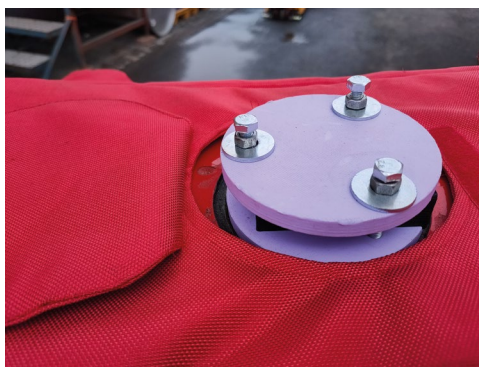


Figure 6. The DROP LOGGER inertial measurement unit installed on a dummy
Rycina 6. Układ pomiarowego DROP LOGGER zamontowany na manekinie

Source: CNBOP-PIP's own archive.

Źródło: Archiwum własne CNBOP-PIB.

Results

For each drop, the mechanical response of the jump cushion was determined for the weight used and its corresponding impact velocity. The height was determined with a tolerance allowed in a laboratory, i.e. $\pm 1\%$ of the nominal height. The weights of the dropped objects were 40.54 kg and 90.54 kg. A minimum of 3 drops

¹ It was assumed that the weight of a firefighter is 90 kg. The smaller the weight and the larger the fall height, the smaller the deflection of the jump cushion and the larger the g-forces – in previous years, the smallest weight was assumed (a very thin adult of a teenager).

Metodyka badań

W trakcie badań manekin podczepiony był do zdalnie sterowanego urządzenia zwalnającego przedstawionego na rycinach 5 i 6. Uwzględniając wyniki wcześniej prowadzonych prac [26], przyjęto że badania będą polegały na zrzutach wspomnianych powyżej manekinów (40, 90 kg) [27]¹ na różne typy skokochronów, w środek ich powierzchni zeskoku, z wysokości 16 metrów.

Wyniki

W każdym zrzucie wyznaczono odpowiedź mechaniczną skokochronu dla użytej masy i odpowiadającej jej prędkości uderzenia. Wysokość ustalana była z tolerancją przewidzianą w laboratorium, tj. $\pm 1\%$ wysokości nominalnej. Masy zrzucanego obiektu wynosiły odpowiednio 40,54 kg oraz 90,54 kg. Dla każdego

¹ Przyjęto masę strażaka 90 kg. Im mniejsza masa i wyższa wysokość upadku, tym ugięcie skokochronu mniejsze, a więc przeciążenia większe – we wcześniejszych latach realizacji przyjęto najmniejszą masę 40 kg (bardzo szczupła osoba lub nastolatek).

were performed for each set of parameters. During each test, the values of the g-force were recorded for 7000 ms from the moment of release of the load.

The results were analysed in terms of the value and duration of the g-force. A graph showing the change of the g-force in time is shown below. The g-force value is a rolling average for 3 points (3 ms).

At first, the authors analysed the g-force and the velocity as a function of time for one of the drops. The function is shown in the graph in Figure 7.

zestawu parametrów przeprowadzono minimum 3 zrzuty. W trakcie każdej próby rejestrowano przebiegi przeciążeń przez 7000 ms od momentu zwolnienia obciążenia.

Uzyskane wyniki zostały poddane analizie pod kątem wielkości przeciążeń i czasu ich oddziaływania. Poniżej zaprezentowano wykresy przeciążenia w funkcji czasu. Wartość przeciążenia jest średnią kroczącą z 3 punktów (3 ms).

Na początku autorzy przeprowadzili analizę przeciążenia oraz prędkości w funkcji czasu dla jednego ze zrzutów. Przebieg funkcji przedstawia wykres na rycinie 7.

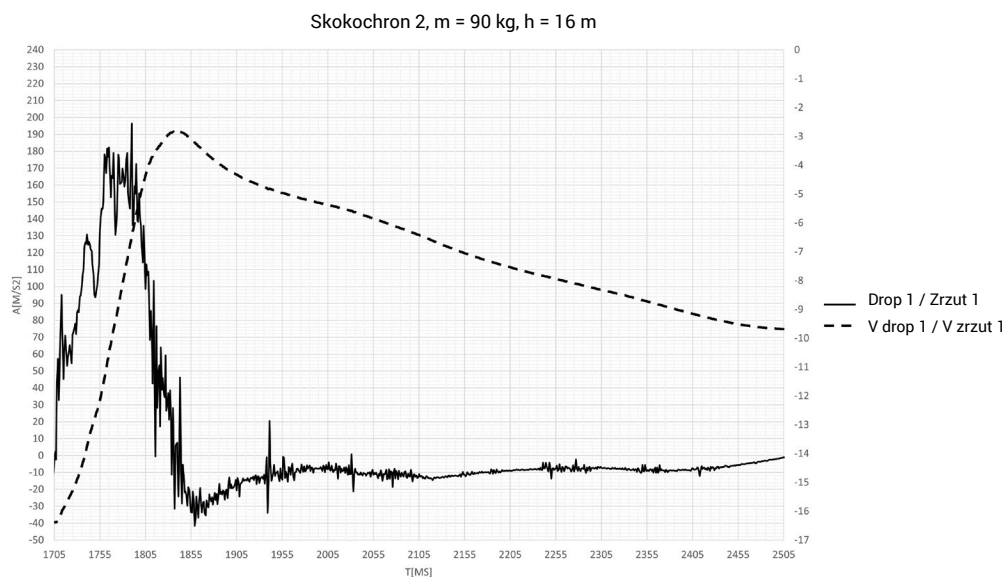


Figure 7. The change in the g-force and the velocity as a function of time for the drop of a dummy weighing 90 kg from the height of 16 m onto the jump cushion no. 2

Rycina 7. Przebieg przeciążenia oraz prędkości w funkcji czasu dla zrzutu manekina o masie 90 kg z wysokości 16 m na skokochron 2

Source: Own elaboration by CNBOP-PIB.

Źródło: Opracowanie własne CNBOP-PIB.

The graph starts at the moment of the first contact of the dummy with the jump cushion's surface. At a given time, the force acting on the dummy starts to change, but due to the flexibility of the jump cushion, the initial contact does not generate a large g-force. At the same time, the dummy's velocity resulting from the free fall continues to be negative, which conforms to the direction of the force of gravity. The initial change of the g-force from negative to positive values indicates the beginning of the resistance of the jump cushion, which means that the jump cushion begins to absorb the dummy's kinetic energy.

As the dummy continues to penetrate into the surface of the jump cushion, its case begins to bend, which results in changes in the g-force along the vertical axis. The value of the g-force changes from negative (typical of a free fall) to positive, when the jump cushion gradually increases its response force, resulting in an effective deceleration of the dummy. The g-force increases moderately, which suggests that the process of contact is gradual and the dummy's kinetic energy is gradually absorbed by the case of the jump cushion.

Wykres rozpoczyna się od momentu pierwszego kontaktu manekina z powierzchnią skokochronu. W danej chwili siła działająca na manekina zaczyna się zmieniać, jednak ze względu na elastyczność skokochronu początkowy kontakt nie generuje dużych przeciążeń. Jednocześnie prędkość manekina, wynikająca ze swobodnego spadku, utrzymuje się na wartości ujemnej, co jest zgodne z jej kierunkiem odpowiadającym działaniu siły grawitacji. Początkowa zmiana przeciążenia z wartości ujemnych na dodatnie wskazuje na początek oporu stawianego przez skokochron, co oznacza, że skokochron zaczyna pochłaniać energię kinetyczną manekina.

Wraz z dalszym wnikaniem manekina w powierzchnię skokochronu, powłoka zaczyna się stopniowo uginać, co powoduje zmiany przeciążenia w osi pionowej. Przeciążenie zmienia swoją wartość z ujemnej (charakterystycznej dla swobodnego spadku) na dodatnią, gdy skokochron sukcesywnie zwiększa swoją siłę reakcji, prowadząc do skutecznego hamowania manekina. Wartości przeciążenia rosną w sposób umiarkowany, co sugeruje, że proces kontaktu jest stopniowy, a energia kinetyczna manekina jest sukcesywnie absorbowana przez powłokę skokochronu.

When the braking force of the jump cushion reaches its maximum value, which involves the maximum compression of its case, an abrupt increase in the g-force is observed. At this stage, the jump cushion is subject to a maximum compression and causes the largest resistance. At the same time, the dummy's velocity reaches its maximum value (the smallest negative value), which indicates an effective energy absorption by the jump cushion. After this value is reached, the resistance force begins to gradually decrease, which means that the jump cushion stops to intensively decelerate the dummy.

Of note is the fact that after the jump cushion has absorbed the energy, it does not bounce off the dummy in a way that would cause the direction of its velocity to change to a positive one (i.e. a direction opposite to the direction of the fall). Instead, the case gradually decompresses, thus dissipating the stored energy sufficiently to allow the dummy to be kept above the surface, without a clear bouncing. After the maximum compression, the jump cushion returns to its original shape, but it is not flexible enough to fully bounce off the dummy. In this phase, the dummy continues to be supported on the jump cushion case, which deflects under its weight again towards the ground.

The graph also shows some fluctuations in the g-force value, which indicate a dynamic behaviour of the jump cushion. These fluctuations are most likely due to the oscillation of the jump cushion case after the first impact, which is typical of the dynamic properties of flexible materials. Nevertheless, these motions are too small to clearly bounce off the dummy, and so the velocity still oscillates around negative values.

Further in the analysis, the authors focused on an assessment of the effectiveness of energy absorption by the jump cushion, starting from the moment of the first contact with the jump cushion case, when the vertical velocity reaches its maximum value for the first time. This moment corresponds to the maximum compression of the jump cushion and reflects the effectiveness of its shock absorption properties.

W chwili, gdy siła hamowania skokochronu osiąga maksimum, co jest związane z maksymalną kompresją powłoki, obserwuje się gwałtowny wzrost przeciążenia. Jest to etap, w którym skokochron ulega maksymalnemu zgniotowi i stawia największy opór. W tym samym czasie prędkość manekina osiąga swoją maksymalną wartość (najmniejszą wartość ujemną), co wskazuje na efektywne pochłanianie energii przez skokochron. Po osiągnięciu tej wartości siła oporu zaczyna stopniowo maleć, co oznacza, że skokochron przestaje dalej intensywnie hamować manekin.

Warto zauważyć, że po zgromadzeniu energii skokochron nie odbija manekina w sposób, który spowodowałby zmianę kierunku prędkości na dodatni (czyli w kierunku przeciwnym do upadku). Zamiast tego, powłoka stopniowo rozpręża się, rozpraszając zgmagazynowaną energię w sposób wystarczający, aby manekin został utrzymany nad powierzchnią, bez wyraźnego odbicia. Po maksymalnej kompresji, skokochron powoli powraca do swojego pierwotnego kształtu, jednak nie jest na tyle sprężysty, aby wywołać pełne odbicie manekina. W tej fazie manekin jest nadal podtrzymywany przez powłokę skokochronu, która opada pod jego ciężarem, ulegając ponownemu załamaniu w kierunku podłoża.

Na wykresie można również zaobserwować pewne fluktuacje wartości przeciążenia, które wskazują na dynamiczne zachowanie skokochronu. Fluktuacje te są najprawdopodobniej wynikiem oscylacji powłoki skokochronu po pierwszym uderzeniu, co jest charakterystyczne dla dynamicznych właściwości elastycznych materiałów. Niemniej jednak, te ruchy są zbyt małe, aby spowodować wyraźne odbicie manekina, przez co prędkość nadal oscyluje wokół wartości ujemnych.

W dalszej analizie autorzy skupili się na ocenie skuteczności tłumienia energii przez skokochron, poczynwszy od chwili pierwszego kontaktu z powłoką do momentu, w którym wartość prędkości pionowej osiągnie swoje maksimum po raz pierwszy. Ten moment odpowiada maksymalnej kompresji skokochronu i odzwierciedla efektywność jego właściwości amortyzacyjnych.

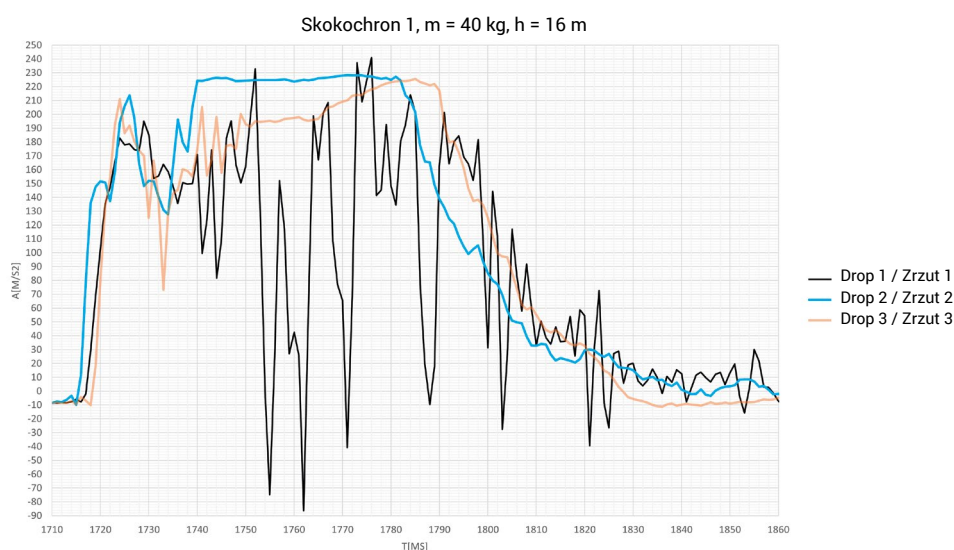


Figure 8. The change in the g-force as a function of time for the drop of a dummy weighing 40 kg from the height of 16 m onto the jump cushion no. 1
Rycina 8. Przebieg przeciążenia w funkcji czasu dla zrzutu manekina o masie 40 kg z wysokości 16 m na skokochron 1

Source: Own elaboration by CNBOP-PIB.
Źródło: Opracowanie własne CNBOP-PIB.

The maximum g-force caused by a fall of a dummy weighing 40 kg from the height of 16 m onto the centre of the drop surface of the jump cushion no. 1 ranged from 225.8 m/s² for drop no. 2 to 241.0 m/s² for drop no. 1. The duration of the maximum g-force, i.e. the period of time in which the g-force value was closed to the maximum one (exceeded the threshold of 95% of the maximum value) ranged from 15 ms for drop no. 3 to 42 ms for drop no. 2.

The standard deviation for the maximum g-force was 6.65 m/s². The value of the standard deviation for the duration of the maximum g-force values was assumed to be at the level of 11.22 ms. Due to the relatively large g-force values in the context of g-force tolerance of the human body, an analysis was also conducted of g-force values greater than 10, 15 and 20 g. The duration of g-force exceeding 10 g ranged from 106 ms for drop no. 3 to 138 ms for drop no. 1. For g-force values greater than 15 g, the duration ranged from 104 ms for drop no. 3 to 138 ms for drop no. 1 (with a standard deviation of 14.38 ms). For g-force values greater than 20 g, it ranged from 103 ms for drop no. 3 to 138 ms for drop no. 1 (with a standard deviation of 15.28 ms).

Maksymalne przeciążenie wynikające z upadku masy 40 kg, z wysokości 16 m na środek powierzchni zeskok skokochronu 1 wyniosło od 225,8 m/s² dla zrzutu 2 do 241,0 m/s² dla zrzutu 1. Czas trwania maksymalnego przeciążenia, tj. okres, w którym przeciążenie było bliskie maksymalnemu (przekroczenie progu 95% maksymalnej wartości), wyniósł od 15 ms dla zrzutu 3 do 42 ms dla zrzutu 2.

Odchylenie standardowe maksymalnego przeciążenia wyniosło 6,65 m/s². Wartość odchylenia standardowego dla czasu trwania maksymalnych przeciążeń przyjęto na poziomie 11,22 ms. Z uwagi na relatywnie duże wartości przeciążeń w kontekście tolerancji ciała ludzkiego na przeciążenia, przeprowadzono również analizę przeciążeń powyżej progu 10, 15 i 20 g. Czas trwania przeciążeń powyżej progu 10 g wyniósł od 106 ms dla zrzutu 3, do 138 ms dla zrzutu 1 (z odchyleniem standardowym 13,2 ms). Dla progu powyżej 15 g wyniósł od 104 ms dla zrzutu 3, do 138 ms dla zrzutu 1 (z odchyleniem standardowym 14,38 ms). Natomiast powyżej progu 20 g wyniósł od 103 ms dla zrzutu 3 oraz do 138 ms dla zrzutu 1 (z odchyleniem standardowym 15,28 ms).

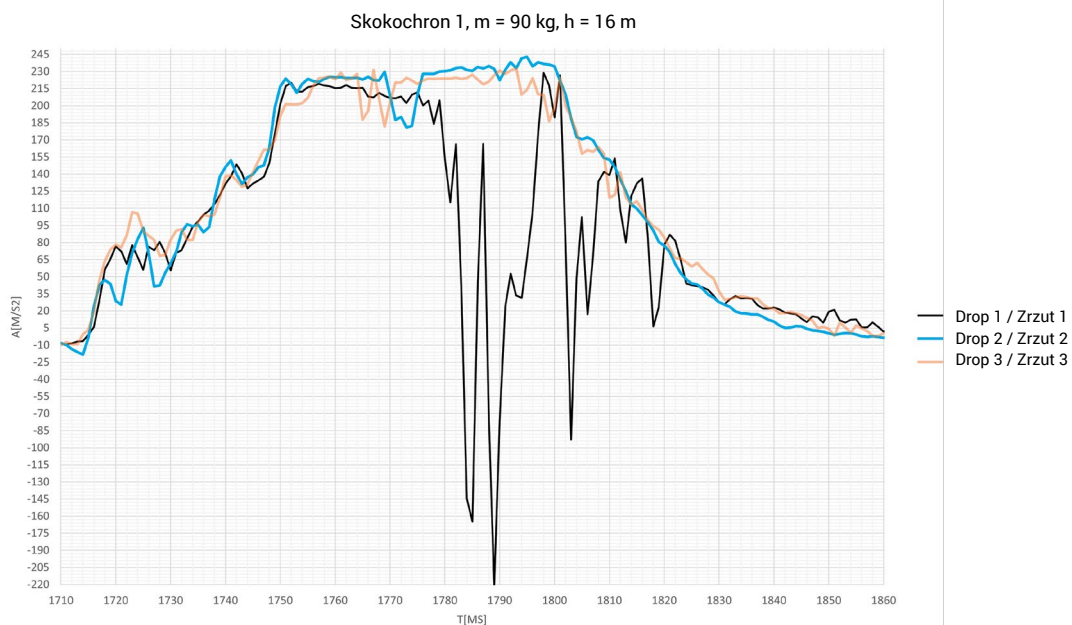


Figure 9. The change in the g-force as a function of time for the drop of a dummy weighing 90 kg from the height of 16 m onto the jump cushion no. 1
Rycina 9. Przebieg przeciążenia w funkcji czasu dla zrzutu manekina o masie 90 kg z wysokości 16 m na skokochron 1

Source: Own elaboration by CNBOP-PIB.

Źródło: Opracowanie własne CNBOP-PIB.

The values of the maximum g-force resulting from the fall of a dummy weighing 90 kg from a height of 16 m onto the centre of the drop surface of the jump cushion no. 1 ranged from 228.8 m/s² to 242.8 m/s² for drops no. 1 and 2, respectively. The duration of the maximum g-force, i.e. the period of time in which the g-force value was closed to the maximum one (exceeded the threshold of 95% of the maximum value) ranged from 19 ms (drop no. 2) to 50 ms (drop no. 1).

The standard deviation for the maximum g-force was 5.88 m/s². The standard deviation for the duration of the maximum g-force

Wartości maksymalnego przeciążenia wynikającego z upadku masy 90 kg, z wysokości 16 m na środek powierzchni zeskok skokochronu 1 wyniosły od 228,8 m/s² do 242,8 m/s² dla odpowiednio dla zrzutów 1 i 2. Czas trwania maksymalnego przeciążenia, tj. okres, w którym przeciążenie było bliskie maksymalnemu (przekroczenie progu 95% maksymalnej wartości), wyniósł od 19 ms (zrzut 2) do 50 ms (zrzutu 1).

Odchylenie standardowe maksymalnego przeciążenia wyniosło 5,88 m/s². Odchylenie standardowe czasu trwania maksymalnych przeciążeń było równe 13,42 ms. Z uwagi na relatywnie duże

was 13.42 ms. Due to the relatively large g-force values in the context of g-force tolerance of the human body, an analysis was also conducted of g-force values greater than 10, 15 and 20 g. The duration of g-force exceeding 10 g ranged from 124 ms for drop no. 2 to 141 ms for drop no. 1 (with a standard deviation of 6.98 ms). For g-force values greater than 15 g, the duration ranged from 121 ms for drop no. 2 to 134 ms for drop no. 1 (with a standard deviation of 5.35 ms). For g-force values greater than 20 g, it ranged from 116 ms for drop no. 2 to 134 ms for drop no. 1 (with a standard deviation of 7.41 ms).

wartości przeciążeń w kontekście tolerancji ciała ludzkiego na przeciążenia przeprowadzono również analizę przeciążeń powyżej progu 10, 15 i 20 g. Czas trwania przeciążeń powyżej progu 10 g wyniósł od 124 ms dla zrzutu 2, do 141 ms dla zrzutu 1 (z odchyleniem standardowym 6,98 ms). Dla progu powyżej progu 15 g wyniósł od 121 ms dla zrzutu 2, do 134 ms dla zrzutu 1 (z odchyleniem standardowym 5,35 ms). Natomiast powyżej progu 20 g wyniósł od 116 ms dla zrzutu 2, do 134 ms dla zrzutu 1 (z odchyleniem standardowym 7,41 ms).

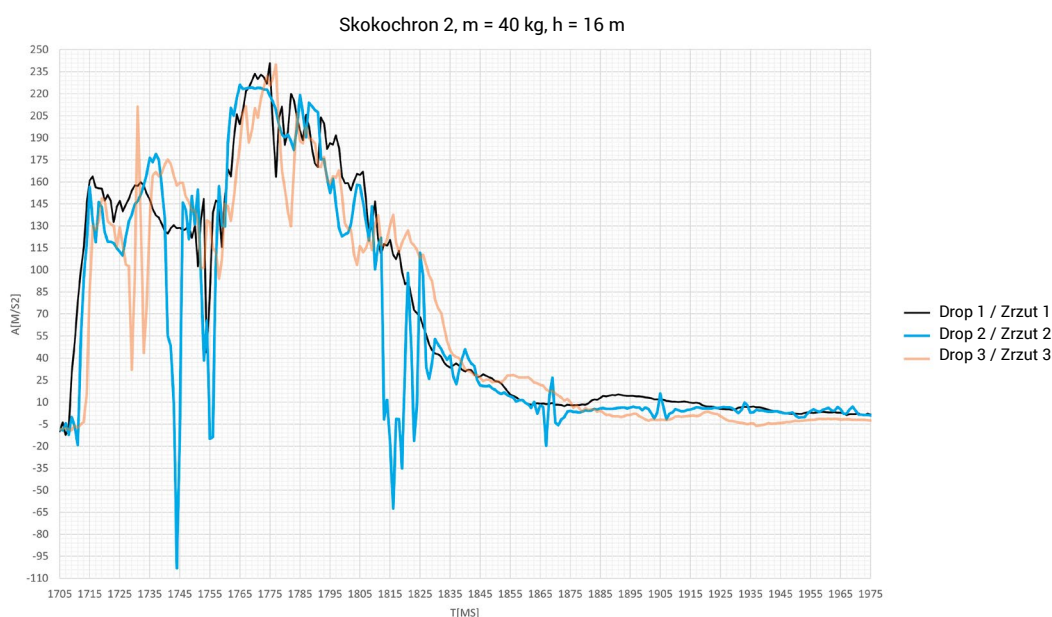


Figure 10. The change in the g-force as a function of time for the drop of a dummy weighing 40 kg from the height of 16 m onto the jump cushion no. 2
Rycina 10. Przebieg przeciążenia w funkcji czasu dla zrzutu manekina o masie 40 kg z wysokości 16 m na skokochron 2

Source: Own elaboration by CNBOP-PIB.

Źródło: Opracowanie własne CNBOP-PIB.

The maximum g-force caused by a fall of a dummy weighing 40 kg from the height of 16 m onto the centre of the drop surface of the jump cushion no. 1 ranged from 226.1 m/s² (for drop no. 2) to 240.8 m/s² (for drop no. 1). The duration of the maximum g-force, i.e. the period of time in which the g-force value was closed to the maximum one (exceeded the threshold of 95% of the maximum value) ranged from 3 ms (for drop no. 3) to 21 ms (for drop no. 2).

The standard deviation for the maximum g-force was assumed at the level of 6.72 m/s². The standard deviation for the duration of the maximum g-force was 8.06 ms. Due to the relatively large g-force values in the context of the tolerance of the human body, an analysis was also conducted of g-force values greater than 10, 15 and 20 g. The duration of g-force exceeding 10 g ranged from 161 ms (for drop no. 3) to 205 ms (for drop no. 1), with a standard deviation of 18.57 ms. For g-force values greater than 15 g, the duration ranged from 156 ms (for drop no. 3) to 193 ms (for drop no. 2), with a standard deviation of 15.51 ms. For g-force values greater than 20 g, it ranged from 144 ms for drop no. 1 and 2 to 157 ms for drop no. 3, with a standard deviation of 5.31 ms.

Maksymalne przeciążenie wynikające z upadku masy 40 kg, z wysokości 16 m na środek powierzchni zeskoku skokochronu 1 mieściło się w granicach od 226,1 m/s² (dla zrzutu 2) do 240,8 m/s² (dla zrzutu 1). Czas trwania maksymalnego przeciążenia, tj. okres, w którym przeciążenie było bliskie maksymalnemu (przekroczenie progu 95% maksymalnej wartości), wyniósł od 3 ms (dla zrzutu 3) do 21 ms (dla zrzutu 2).

Wartość odchylenia standardowego maksymalnego przeciążenia przyjęto na poziomie 6,72 m/s². Odchylenie standardowe czasu trwania maksymalnych przeciążeń było równe 8,06 ms. Z uwagi na relatywnie duże wartości przeciążeń w kontekście tolerancji ciała ludzkiego, przeprowadzono również analizę przeciążeń powyżej progu 10, 15 i 20 g. Czas trwania przeciążeń powyżej progu 10 g wyniósł od 161 ms (dla zrzutu 3) do 205 ms (dla zrzutu 1), z odchyleniem standardowym 18,57 ms. Dla progu powyżej progu 15 g wyniósł od 156 ms (dla zrzutu 3) do 193 ms (dla zrzutu 2) z odchyleniem standardowym 15,51 ms. Z kolei powyżej progu 20 g wartość ta wyniosła od 144 ms dla zrzutów 1 i 2 oraz do 157 ms dla zrzutu 3 z odchyleniem standardowym 5,31 ms.

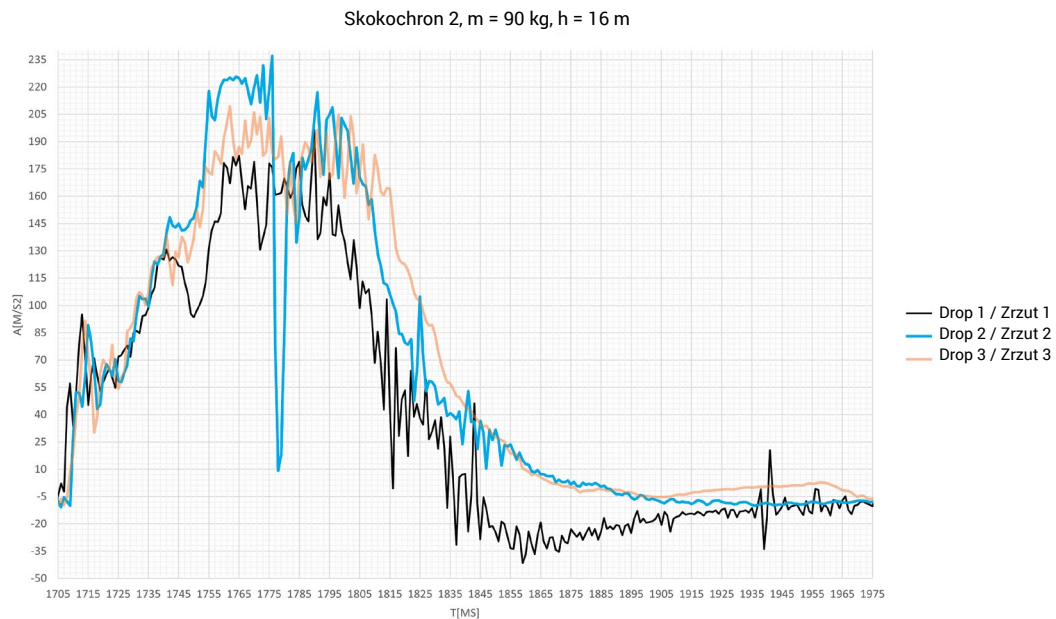


Figure 11. The change in the g-force as a function of time for the drop of a dummy weighing 90 kg from the height of 16 m onto the jump cushion no. 2
Rycina 11. Przebieg przeciążenia w funkcji czasu dla zrzutu manekina o masie 90 kg z wysokości 16 m na skokochron 2

Source: Own elaboration by CNBOP-PIB.

Źródło: Opracowanie własne CNBOP-PIB.

The maximum g-force caused by a fall of a dummy weighing 90 kg from the height of 16 m onto the centre of the drop surface of the jump cushion no. 2 ranged from 196.3 m/s^2 (drop no. 3) to 237.1 m/s^2 (drop no. 2). The duration of the maximum g-force, i.e. the period of time in which the g-force value was closed to the maximum one (exceeded the threshold of 95% of the maximum value) ranged from 12 ms (drop no. 2) to 41 ms (drop no. 3). For drop no. 1, it was not possible to determine the duration of g-force exceeding 95% of the maximum value, which was due to the fluctuation of the changes.

The standard deviation of the maximum g-force was determined at the level of 17.21 m/s^2 . The standard deviation of the duration of the maximum g-force was equal to 17.21 ms. Due to the relatively large g-force values in the context of the tolerance of the human body, an analysis was also conducted of g-force values greater than 10, 15 and 20 g. The duration of g-force exceeding 10 g ranged from 135 ms (for drop no. 1) to 151 ms (for drop no. 2), with a standard deviation of 7.12 ms. For g-force values greater than 15 g, the duration ranged from 135 ms for drop no. 1 to 149 ms for drop no. 2, with a standard deviation of 6.38 ms, and for g-force values greater than 20 g, it ranged from 135 ms for drop no. 1 to 145 ms for drop no. 2, with a standard deviation of 4.32 ms.

Maksymalne przeciążenie wynikające z upadku masy 90 kg, z wysokości 16 m na środek powierzchni zeskok skokochronu 2 mieściło się w zakresie od $196,3 \text{ m/s}^2$ (zrzut 3) do $237,1 \text{ m/s}^2$ (zrzut 2). Czas trwania maksymalnego przeciążenia, tj. okres, w którym przeciążenie było bliskie maksymalnemu (przekroczenie progu 95% maksymalnej wartości), wyniósł od 12 ms (zrzut 2) do 41 ms (zrzut 3). W zrzucie 1 nie udało się określić czasu oddziaływania przeciążeń powyżej 95% wartości maksymalnej, co było wynikiem fluktuacji przebiegu.

Odchylenie standardowe maksymalnego przeciążenia ustalono na poziomie $17,21 \text{ m/s}^2$. Odchylenie standardowe czasu trwania maksymalnych przeciążeń wyniosło 17,21 ms. Z uwagi na relatywnie duże wartości przeciążeń w kontekście tolerancji ciała ludzkiego przeprowadzono również analizę przeciążeń powyżej progu 10, 15 i 20 g. Czas trwania przeciążeń powyżej progu 10 g wyniósł od 135 ms (dla zrzutu 1) do 151 ms (dla zrzutu 2) z odchyleniem standardowym 7,12 ms. Dla progu powyżej 15 g wyniósł od 135 ms dla zrzutu 1, do 149 ms dla zrzutu 2 z odchyleniem standardowym 6,38 ms, natomiast powyżej progu 20 g od 135 ms dla zrzutu 1 i do 145 ms dla zrzutu 2 z odchyleniem standardowym 4,32 ms.

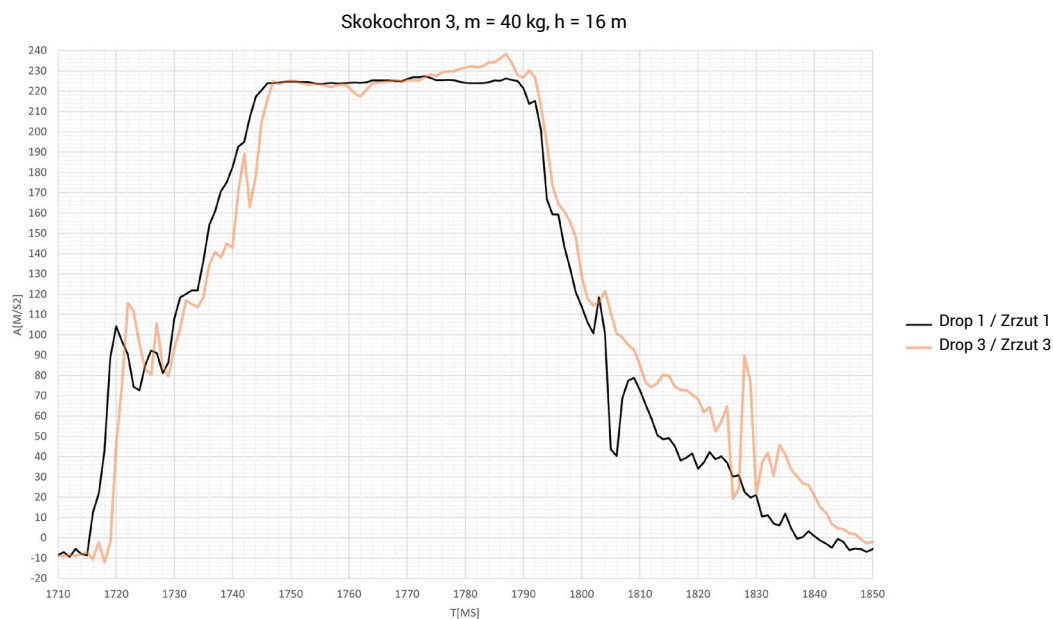


Figure 12. The change in the g-force as a function of time for the drop of a dummy weighing 40 kg from the height of 16 m onto the jump cushion no. 3
Rycina 12. Przebieg przeciążenia w funkcji czasu dla zrzutu manekina o masie 40 kg z wysokości 16 m na skokochron 3

Source: Own elaboration by CNBOP-PIB.

Źródło: Opracowanie własne CNBOP-PIB.

The maximum g-force caused by a fall of a dummy weighing 40 kg from the height of 16 m onto the centre of the drop surface of the jump cushion no. 3 ranged from 227.5 m/s² (for drop no. 1) to 238.5 m/s² (for drop no. 3). The duration of the maximum g-force, i.e. the period of time in which the g-force value was closed to the maximum one (exceeded the threshold of 95% of the maximum value) ranged from 19 ms (for drop no. 3) to 46 ms (for drop no. 1).

The standard deviation for the value of the maximum g-force was equal to 5.51 m/s², and the standard deviation for the duration of the maximum g-force was equal to 13.5 ms. Due to the relatively large g-force values in the context of the tolerance of the human body, an analysis was also conducted of g-force values greater than 10, 15 and 20 g. The duration of g-force exceeding 10 g ranged from 119 ms (for drop no. 1) to 122 ms (for drop no. 3), with a standard deviation of 1.15 ms. For g-force values greater than 15 g, the duration ranged from 113 ms (for drop no. 1) to 121 ms (for drop no. 3), with a standard deviation of 4 ms, and for g-force values greater than 20 g it ranged from 113 ms (for drop no. 1) to 120 ms (for drop no. 3), with a standard deviation of 3.5 ms.

Maksymalne przeciążenie wynikające z upadku masy 40 kg, z wysokości 16 m na środek powierzchni zeskoku skokochronu 3 wyniosło od 227,5 m/s² (dla zrzutu 1) do 238,5 m/s² (dla zrzutu 3). Czas trwania maksymalnego przeciążenia, tj. okres, w którym przeciążenie było bliskie maksymalnemu (przekroczenie progu 95% maksymalnej wartości), wyniósł od 19 ms (dla zrzutu 3) do 46 ms (dla zrzutu 1).

Wartość odchylenia standardowego maksymalnego przeciążenia wyniosła 5,51 m/s², a odchylenia standardowego czasu trwania maksymalnych przeciążeń – 13,5 ms. Z uwagi na relatywnie duże wartości przeciążeń w kontekście tolerancji ciała ludzkiego przeprowadzono również analizę przeciążeń powyżej progu 10, 15 i 20 g. Czas trwania przeciążeń powyżej progu 10 g wyniósł od 119 ms (dla zrzutu 1) do 122 ms (dla zrzutu 3) z odchyleniem standardowym 1,15 ms. Dla progu powyżej progu 15 g wyniósł od 113 ms (dla zrzutu 1) do 121 ms (dla zrzutu 3) z odchyleniem standardowym 4 ms, natomiast powyżej progu 20 g wyniósł od 113 ms (dla zrzutu 1) do 120 ms (dla zrzutu 3) z odchyleniem standardowym równym 3,5 ms.

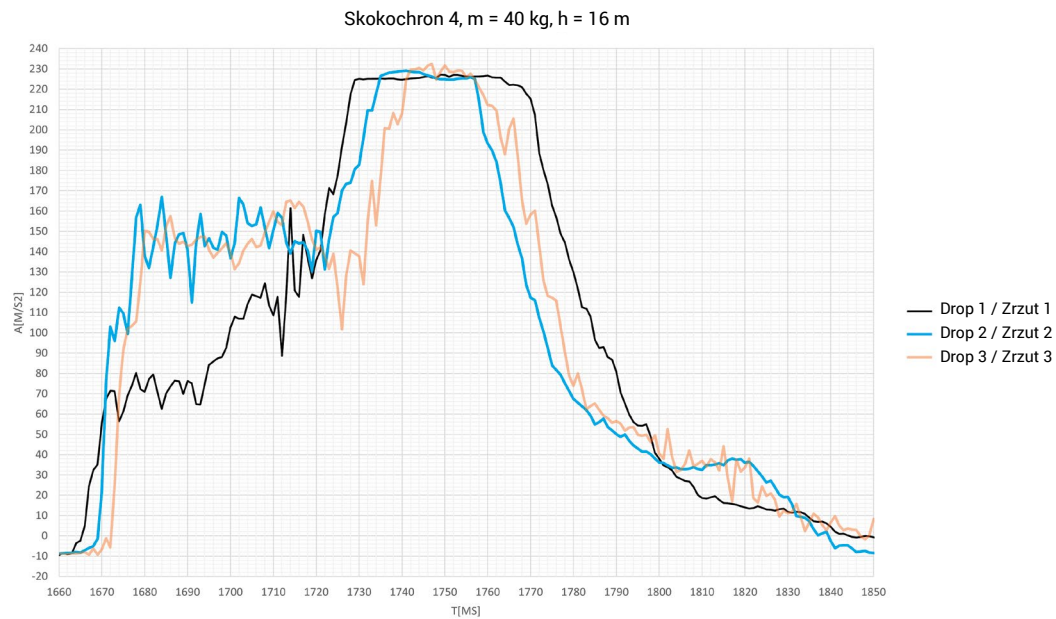


Figure 13. The change in the g-force as a function of time for the drop of a dummy weighing 40 kg from the height of 16 m onto the jump cushion no. 4
Rycina 13. Przebieg przeciążenia w funkcji czasu dla zrzutu manekina o masie 40 kg z wysokości 16 m na skokochron 4

Source: Own elaboration by CNBOP-PIB.

Źródło: Opracowanie własne CNBOP-PIB.

The maximum g-force caused by a fall of a dummy weighing 40 kg from the height of 16 m onto the centre of the drop surface of the jump cushion no. 4 ranged from 229.1 m/s² (for drop no. 2) to 232.5 m/s² (for drop no. 3). The duration of the maximum g-force, i.e. the period in which the g-force was close to the maximum one (exceeded 95% of the maximum value) ranged from 16 to 24 ms for drops no. 3 and 1, respectively.

The standard deviation for the value of the maximum g-force was equal to 1.47 m/s². On the other hand, the standard deviation for the duration of the maximum g-force was 3.56 ms. In this test, too, due to the relatively large g-force values in the context of the tolerance of the human body, an analysis was also conducted of g-force values greater than 10, 15 and 20 g. The duration of g-force exceeding 10 g ranged from 159 ms (for drop no. 1) to 163 ms (for drop no. 3), with a standard deviation of 1.63 ms. For g-force values above 15 g, the value of this parameter ranged from 155 ms (for drop no. 1) to 161 ms (for drop no. 2), with a standard deviation equal to 2.49 ms. On the other hand, for g-force values above 20 g, this parameter ranged from 150 ms (for drop no. 1) to 158 ms (for drop no. 2), with a standard deviation of 3.3 ms.

Maksymalne przeciążenie wynikające z upadku masy 40 kg z wysokości 16 m na środek powierzchni zeskoku skokochronu 4 wyniosło od 229,1 m/s² (dla zrzutu 2) do 232,5 m/s² (dla zrzutu 3). Czas trwania maksymalnego przeciążenia, tj. okres, w którym przeciążenie było bliskie maksymalnemu (przekroczenie progu 95% maksymalnej wartości), mieścił się w przedziale od 16 do 24 ms – odpowiednio dla zrzutów 3 i 1.

Wartość odchylenia standardowego maksymalnego przeciążenia wyniosła 1,47 m/s². Z kolei odchylenie standardowe czasu trwania maksymalnych przeciążeń było równe 3,56 ms. Także w tym badaniu, z uwagi na relatywnie duże wartości przeciążeń w kontekście tolerancji ciała ludzkiego, przeprowadzono również analizę przeciążeń powyżej progu 10, 15 i 20 g. Czas trwania przeciążeń powyżej progu 10 g wyniósł od 159 ms (dla zrzutu 1) do 163 ms (dla zrzutu 3) z odchyleniem standardowym 1,63 ms. Dla progu powyżej progu 15 g wartość tego parametru mieściła się w granicach od 155 ms (dla zrzutu 1) do 161 ms (dla zrzutu 2) z odchyleniem standardowym równym 2,49 ms. Z kolei powyżej progu 20 g parametr czas ten wyniósł od 150 ms (dla zrzutu 1) do 158 ms (dla zrzutu 2), z odchyleniem standardowym na poziomie 3,3 ms.

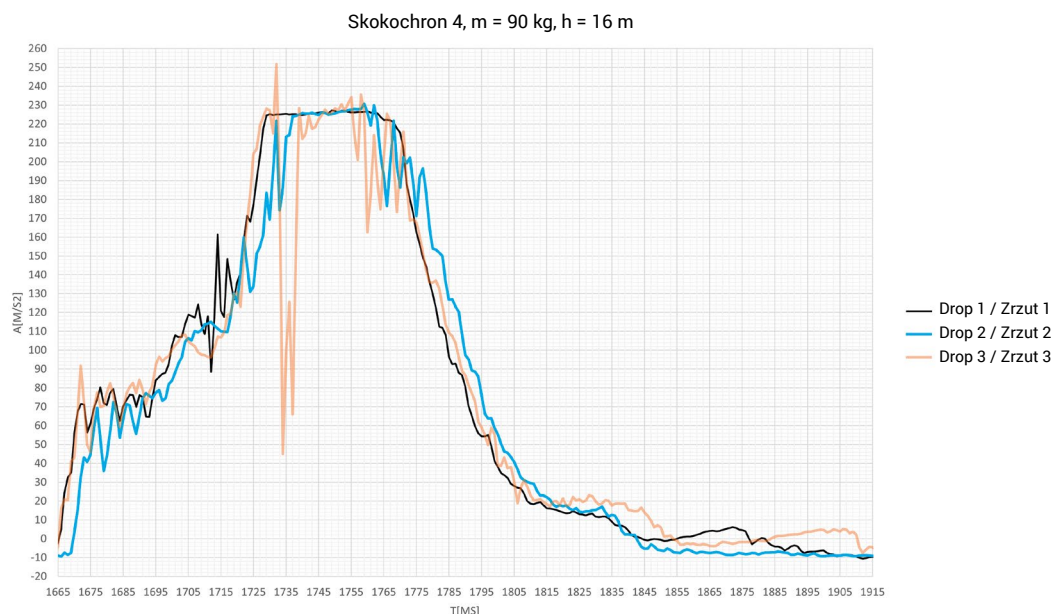


Figure 14. The change in the g-force as a function of time for the drop of a dummy weighing 90 kg from the height of 16 m onto the jump cushion no. 4
Rycina 14. Przebieg przeciążenia w funkcji czasu dla zrzutu manekina o masie 90 kg z wysokości 16 m na skokochron 4

Source: Own elaboration by CNBOP-PIB.

Źródło: Opracowanie własne CNBOP-PIB.

The maximum recorded g-force caused by a fall of a dummy weighing 90 kg from the height of 16 m onto the centre of the drop surface of the jump cushion no. 4 ranged from 227.2 m/s² for drop no. 1 to 264 m/s² for drop no. 2. The duration of the maximum g-force, i.e. the period of time in which the g-force value was closed to the maximum one (exceeded the threshold of 95% of the maximum value) was 41 ms (drop no. 1) or longer. For drops no. 2 and 3, it was not possible to determine the duration of g-force exceeding 95% of the maximum value, which was due to the fluctuation of the changes.

The standard deviation of the value of the maximum g-force was equal to 15.3 m/s². The standard deviation for the duration of the maximum g-force was at the level of 19.33 ms.

Due to the relatively large g-force values in the context of the tolerance of the human body, an analysis was also conducted of g-force values greater than 10, 15 and 20 g. The duration of g-force exceeding 10 g ranged from 1501 ms (for drop no. 3) to 1836 ms (for drop no. 3), with a standard deviation of 156.99 ms. For g-force values greater than 15 g, the duration ranged from 151 ms for drop no. 1 to 1449 ms for drop no. 3, with a standard deviation of 581.51 ms. On the other hand, for g-force values above 20 g, this duration ranged from 142 ms (for drop no. 1) to 1427 ms for drop no. 3, with a standard deviation of 578.55 ms.

Results and discussion

A series of dummy drops was performed onto jump cushions with pneumatic frames, filled with air from cylinders for breathing apparatuses from various manufacturers and various manufacturing periods. The drops were performed each time onto the centre of the drop surface from a height of 16 m, which was due

Maksymalne zarejestrowane przeciążenie wynikające z upadku masy 90 kg, z wysokości 16 m na środek powierzchni zeskoku skokochronu 4 wyniosło 227,2 m/s² – dla zrzutu 1 oraz 264 m/s² – dla zrzutu 2. Czas trwania maksymalnego przeciążenia, tj. okres, w którym przeciążenie było bliskie maksymalnemu (przekroczenie progu 95% maksymalnej wartości) wyniósł od 41 ms (zrzut 1). W zrzutach 2 i 3 nie udało się określić czasu oddziaływania przeciążeń powyżej 95% wartości maksymalnej, co wynikało z fluktuacji przebiegu.

Wartość odchylenia standardowego maksymalnego przeciążenia była równa 15,3 m/s². Odchylenie standardowe czasu trwania maksymalnych przeciążeń było na poziomie 19,33 ms.

Z uwagi na relatywnie duże wartości przeciążeń w kontekście tolerancji ciała ludzkiego przeprowadzono również analizę przeciążeń powyżej progu 10, 15 i 20 g. Czas trwania przeciążeń powyżej progu 10 g wyniósł od 1501 ms (dla zrzutu 3) do 1836 ms (dla zrzutu 3) z odchyleniem standardowym 156,99 ms. Dla progu powyżej 15 g wartość ta wyniosła 151 ms dla zrzutu 1 oraz 1449 ms dla zrzutu 3 z odchyleniem standardowym 581,51 ms. Z kolei powyżej progu 20 g czas ten wyniósł od 142 ms dla zrzutu 1 do 1427 ms dla zrzutu 3 z odchyleniem standardowym 578,55 ms.

Wyniki i dyskusja

Dokonano serii zrzutów manekinów na skokochrony ze stelażem pneumatycznym, napełniane powietrzem z butli do aparatów powietrznych pochodzących od różnych producentów, z różnych okresów produkcji. Zrzuty wykonywane były za każdym razem na środek powierzchni zeskoku z wysokości 16 m, co podyktowane

to the maximum jump height of the jump cushions approved for use. The values of the dropped weight were selected taking into account the weight of a person who can make the jump by himself or herself (a thin adult or a teenager) and the average weight of a firefighter.

In the tests conducted, the maximum g-force values were as large as 264 m/s^2 (which corresponds to approx. 27 g). Such large g-forces can pose a significant risk to the human body, especially if their duration is long. In each tests, the duration of the maximum g-force (exceeding 95% of the maximum value) ranged from 3 ms to 50 ms. Such a short duration of high g-force values can reduce the risk of serious injuries, but still involves some risks, especially for the spine. The duration of g-forces above 10 g ranged from 1501 ms to 1836 ms, and their standard deviation was 156.99 ms. Such a long duration of g-forces at this level can lead to serious injuries of internal organs, because the tolerance of the human body to long duration of such great forces is limited. The duration of g-forces above 15 g ranged from 151 ms to 1449 ms, and their standard deviation was 581.51 ms. Exceeding the value of 15 g for such a long time poses a risk to the integrity of bones, especially the spine.

The duration of g-forces above 20 g ranged from 142 ms to 1427 ms, and their standard deviation was 578.55 ms. Such a long duration of forces exceeding 20 g can lead to irreversible damage, such as bone fractures and injury to the spinal cord.

Of note is the fact that the initial contact of the dummy with the surface of the jump cushion did not generate large g-forces immediately, which means that the jump cushion effectively absorbed the kinetic energy by gradually increasing the reaction force. As a result, it reduced the initial g-force; however, later the g-force increased abruptly due to the maximum compression of the jump cushion case.

The recorded g-force fluctuations after the first impact indicate a dynamic, oscillating properties of the jump cushion, which does not bounce the dummy off after absorbing its energy in a way that could cause a repeated increase in the velocity in the upward direction. A high value of the g-force and its long duration can have a significant impact on human safety. G-force above 10 g, 15 g and especially 20 g can result in serious injuries, especially when present for a long time.

Flexibility of a jump cushion is crucial to the absorption of the energy of the fall – a slow decompression and a lack of a clear bounce reduce the risk of secondary injuries caused by the bounce of the body. The variability of the maximum g-force and its duration, as well as the significant standard deviations, indicate that the effectiveness of jump cushions in the attenuation of forces depends on many factors, such as the weight of the object, the precise drop height and the specific characteristics of the jump cushion case.

Despite the large g-values, the benefits arising from the use of jump cushions exceed the associated risks. In the case of a fall from the height of 16 m onto the ground, g-force can reach as much as 1800 m/s^2 , which results in extensive injuries to many internal organs and in practice means death in most cases.

Jump cushions can still be improved in terms of their absorption properties by modifying both their designs and the materials

by the maximum jump height of the jump cushions approved for use. The values of the dropped weight were selected taking into account the weight of a person who can make the jump by himself or herself (a thin adult or a teenager) and the average weight of a firefighter.

W przeprowadzonych testach uzyskane maksymalne przeciążenia wynosiły nawet do 264 m/s^2 (co odpowiada ok. 27 g). Tak wysokie przeciążenia mogą stanowić poważne zagrożenie dla ciała człowieka, szczególnie jeśli czas oddziaływania jest długi. W każdej z prób czas trwania maksymalnych przeciążeń (przekroczenie 95% wartości maksymalnej) wynosił od 3 ms do 50 ms. Tak krótki czas działania dużych przeciążeń może zmniejszać ryzyko ciężkich urazów, ale nadal niesie zagrożenie, szczególnie dla kręgosłupa. Przeciążenia powyżej 10 g trwały od 1501 ms do 1836 ms, a ich odchylenie standardowe wynosiło 156,99 ms. Tak długi czas trwania przeciążeń na tym poziomie może prowadzić do poważnych uszkodzeń narządów wewnętrznych, ponieważ ciało człowieka ma ograniczoną tolerancję na długotrwałe działanie tak dużych sił. Przeciążenia powyżej 15 g trwały od 151 ms do 1449 ms, a ich odchylenie standardowe wynosiło 581,51 ms. Przekroczenie progu 15 g przez tak długi okres stanowi ryzyko dla integralności kości, szczególnie dla kręgosłupa.

Przeciążenia powyżej 20 g trwały od 142 ms do 1427 ms, a ich odchylenie standardowe wynosiło 578,55 ms. Tak długie działanie sił przekraczających 20 g może prowadzić do nieodwracalnych uszkodzeń, takich jak złamania kości, uszkodzenie rdzenia kręgowego.

Warto zauważyć, że początkowy kontakt manekina z powierzchnią skokochronu nie generował natychmiast dużych przeciążeń, co oznacza, że skokochron efektywnie pochłaniał energię kinetyczną poprzez stopniowe zwiększanie siły reakcji. Dzięki temu zmniejszał początkowe przeciążenie, ale później obserwowany był gwałtowny wzrost przeciążenia związany z maksymalnym zgniotem powłoki skokochronu.

Zarejestrowane fluktuacje przeciążeń po pierwszym uderzeniu wskazują na dynamiczne, oscylacyjne właściwości skokochronu, który po absorpcji energii manekina nie odbija go w sposób, który mógłby spowodować ponowny wzrost prędkości w górę. Wysokie wartości przeciążeń i ich długotrwałe oddziaływanie mogą mieć istotny wpływ na bezpieczeństwo człowieka. Przeciążenia powyżej 10, 15, a szczególnie 20 g mogą prowadzić do poważnych urazów, szczególnie gdy utrzymują się przez dłuższy czas.

Elastyczność skokochronu jest kluczowa dla pochłaniania energii upadku – powolne rozprężanie i brak wyraźnego odbicia zmniejszają ryzyko wtórnych urazów wynikających z odbicia ciała. Zmienność maksymalnych przeciążeń i ich czasów trwania, jak również znaczące odchylenia standardowe, wskazują, że skuteczność skokochronów w tłumieniu sił zależy od wielu czynników, takich jak masa obiektu, dokładna wysokość zrzutu oraz specyfika powłoki.

Pomimo wysokich przeciążeń korzyści wynikające ze stosowania skokochronów przewyższają ryzyka z nim związane. W przypadku upadku z wysokości 16 m na podłoże wielkości przeciążeń mogą osiągać nawet 1800 m/s^2 , co powoduje rozległe wielonarządowe urazy wewnętrzne i praktycznie w większości przypadków oznacza śmierć.

Na polu konstrukcji skokochronów można w dalszym ciągu dokonywać poprawy ich właściwości absorpcyjnych, ingerując

from which they are made. One must note, however, that the largest g-force that a human has survived was equal to just under 1962 m/s^2 and its duration was approx. 3 ms. The knowledge of biomechanics demonstrates that the mechanical properties of bones, cartilages, ligaments, tendons and muscles, which transfer forces and torques that, in this case, are caused by the g-force, correspond to their functions. Moreover, the strength values are very diverse, depending on the part of the human body's system responsible for transferring loads [26]. In this regard, the human body is a complex system that is extremely difficult to imitate, for example in FEA calculations. The properties of bones, cartilages, ligaments, tendons and muscles also depend on a person's age, are non-linear and have a hysteresis, and are influenced by the speed of the deformation. It is therefore not easy to determine the possible injuries occurring in the course of rescue operations involving the use of jump cushions, as they depend on many individual human factors, including the aforementioned mechanical properties.

Conclusions

In the study conducted, the g-force values measured were up to 264 m/s^2 (which corresponds to approx. 27 g). Such large g-force values can pose a significant risk to the human body, especially if their duration is long.

In each test, the duration of the maximum g-force (exceeding 95% of the maximum value) ranged from 3 to 50 ms. Such a short duration of high g-force values can reduce the risk of serious injuries, but still involves some risks, especially for the spine and the osteoarticular system.

A high value of the g-force and its long duration can have a significant impact on human safety. G-force values above 10 g, 15 g and especially 20 g can result in serious injuries, especially when present for a relatively long time. The initial contact of the dummy with the jump cushion surface did not generate large g-force values, which means that the jump cushions effectively absorbed the kinetic energy by gradually increasing the reaction force and reducing the initial g-force; later, a sudden increase in the g-force was observed, connected to the maximum compression of the jump cushion case.

The g-force values recorded after the first contact of the dummy with the jump cushion surface indicate a dynamic, oscillating properties of the jump cushion which, after absorbing the dummy's energy, does not bounce it off in a way that could cause a repeated increase of its velocity in the upward direction.

Flexibility of a jump cushion determines the absorption of the energy of the fall – a slow decompression and a lack of a clear bounce reduce the risk of secondary injuries caused by the bounce of the body.

The variability of the g-force and its duration, as well as the standard deviations, indicate that the effectiveness of jump cushions in the attenuation of forces depends on many factors, such as the weight of the dropped object, the precise drop height and the specific characteristics of the jump cushion case material.

Jump cushions can still be improved in terms of their absorption properties by modifying their design and the materials from

zarówno w ich konstrukcje, jak i materiały, z których zostały wykonane. Należy przy tym zauważyć, że najwyższe znane dopuszczalne przeciążenie, jakie przeżył człowiek, wynosiło niecałe 1962 m/s^2 i trwało ok. 3 ms. Z biomechaniki wiemy natomiast, że właściwości mechaniczne kości, chrząstek, więzadeł, ścięgien i mięśni, które przenoszą siły i momenty w naszym przypadku pochodzące od przeciążeń, wynikają z ich funkcji. Ponadto w zależności od tego z jaką częścią układu przenoszenia obciążeń ciała ludzkiego mamy do czynienia występują bardzo zróżnicowane wielkości wytrzymałości [26]. Pod tym względem ciało ludzkie to skomplikowany układ połączeń, niezwykle trudny do zasymulowania np. w obliczeniach MES. Właściwości kości, chrząstek, więzadeł, ścięgien i mięśni zależą również od wieku, są nieliniowe i posiadają histerezę, a wpływ na nie ma prędkość odkształcania. Ustalenie ewentualnych obrażeń powstałych w wyniku ratowania osób z użyciem skokochronów nie jest więc proste, gdyż zależy od wielu indywidualnych czynników ludzkich, w tym wspomnianych właściwości mechanicznych.

Wnioski

W przeprowadzonych badaniach uzyskane przeciążenia wynosiły do 264 m/s^2 (co odpowiada ok. 27 g). Tak wysokie wartości przeciążenia mogą stanowić istotne zagrożenie dla ciała człowieka, szczególnie jeśli czas oddziaływania jest długi.

W każdej z prób czas trwania maksymalnych przeciążeń (przekroczenie 95% wartości maksymalnej) wynosił od 3 do 50 ms. Tak krótki czas działania dużych przeciążeń może zmniejszać ryzyko ciężkich urazów, ale nadal niesie zagrożenie, szczególnie dla kręgosłupa/układu kostno-stawowego.

Wysokie wartości przeciążeń i ich długotrwałe oddziaływanie mogą mieć istotny wpływ na bezpieczeństwo człowieka. Przeciążenia powyżej 10, 15, a szczególnie 20 g mogą prowadzić do poważnych urazów, szczególnie gdy utrzymują się przez relatywnie dłuższy czas. Zarejestrowane przeciążenia po pierwszym zetknięciu manekina z powierzchnią skokochronu wskazują na dynamiczne, oscylacyjne właściwości skokochronu, który po absorpcji energii manekina nie odbija go w sposób, który mógłby spowodować ponowny wzrost prędkości w górę.

Elastyczność skokochronu decyduje o pochłanianiu energii upadku – powolne rozprężanie i brak wyraźnego odbicia zmniejszają ryzyko wtórnych urazów wynikających z odbicia ciała.

Zmienność przeciążeń i czasów ich trwania, jak również wielkość odchylenia standardowego wskazują, że skuteczność skokochronów w tłumieniu sił zależy od wielu czynników, takich jak: masa zrzuconego obiektu, dokładna wysokość zrzutu oraz specyfika materiału powłoki.

W konstrukcji skokochronów można w dalszym ciągu dokonywać ulepszeń ich właściwości absorpcyjnych, modyfikując rozwiązania konstrukcyjne, jak i materiały, z których zostały wykonane, ponieważ korzyści wynikające ze stosowania skokochronów przewyższają ryzyka z nim związane.

W przyszłości mogą okazać się niezbędne badania z manekinem o większej masie, co podyktowane jest tendencją społeczną do przybierania na wadze oraz nieograniczanie się do

which they are made, because the benefits resulting from their use exceed the associated risks.

In the future, it may be necessary to conduct studies with heavier dummies, due to the increasing body weight of most members of the public, also without restricting the places where the dummy drops on the upper surface of the jump cushion, which may affect the values of the occurring g-forces.

innych miejsc upadku na powierzchnię górną skokochronu, co może mieć znaczenie dla wielkości oddziaływujących przeciążeń.

Literature / Literatura

- [1] Scurlock J.T. 1974, US Patent 3,851,730, *Inflatable safety cushion system for controlled deceleration from falls of great height*, <https://patentimages.storage.googleapis.com/25/12/59/47561f08f91250/US3851730.pdf> [dostęp: 3.11.2024].
- [2] Molski S., Kwaśniewski J., Gołkowski M., Grzybowski J., Czyż J., *Skokochrony jako alternatywne rozwiązanie względem asekuracyjnych siatek bezpieczeństwa do ochrony zbiorowej podczas prac na wysokości*, https://winntbg.bg.agh.edu.pl/NTT_tom1_129, https://doi.org/10.7494/978-83-66727-47-2_8. [dostęp: 3.11.2024].
- [3] Lorsbach P. Jump rescue apparatus US Patent no. 4875548; 1989. [dostęp: 3.11.2024]. <https://patentimages.storage.googleapis.com/4e/db/0e/9fedfaa57d70a5/US4875548.pdf> [<https://patents.google.com/patent/EP0317904B1/de?q=EP0317904B1>] [dostęp: 3.11.2024].
- [4] Faraj R., Popławski B., Gabryel D., Kowalski T., Hinc K. *Analyses of the rescue cushion design – sensitivity study w: 7th European Conference on Structural Control Book of Abstracts and Selected Papers*, red. J. Holnicki-Szulc, D. Wagg, Ł. Jankowski, (Warszawa, wydawnictwo Institute of Fundamental Technological Research, Polish Academy of Sciences, 2022), 138.
- [5] Marklund P.-O., Nilsson L., *Simulation of airbag inflation processes using a coupled fluid structure approach*. *Comput Mech* 2002;29:289–97, <https://doi.org/10.1007/s00466-002-0341-z>.
- [6] Xiao Z., Wang L., Mo F., Zhao S., Liu C., *Optimal design of pre-triggering airbag system for occupant protection performance during frontal crashes*, “*Journal of Automobile Engineering*” 2018, 233(11), 2850–62, <https://doi.org/10.1177/0954407018807330>.
- [7] Farmer M.E., Jain A.K., *Smart automotive airbags: occupant classification and tracking*, “*IEEE Trans Veh Technol*” 2007, 56(1), 60–80, <https://doi.org/10.1109/TVT.2006.883768>.
- [8] Tamura T., Yoshimura T., Sekine M., Uchida M., Tanaka O., *A wearable airbag to prevent fall injuries*, “*IEEE Trans Inf Technol Biomed*” 2009, 13(6), 910–4, <https://doi.org/10.1109/TITB.2009.2033673>.
- [9] Zhu H., Yang J., Zhang Y., *Dual-chamber pneumatically interconnected suspension: modeling and theoretical analysis*, “*Mech Syst Signal Process*” 2021, 147, 107125, <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2020.107125>.
- [10] Huh S., Shim D.H., *A vision-based automatic landing method for fixed-wing UAVs*, “*J Intell Robot Syst*” 2010, 57(1–4), 217–31, <https://doi.org/10.1007/s10846-009-9382-2>.
- [11] Cadogan D., Sandy C., Grahne M., *Development and evaluation of the mars pathfinder inflatable airbag landing system*, “*Acta Astronaut*” 2002, 50(10), 633–40, [https://doi.org/10.1016/S0094-5765\(01\)00215-6](https://doi.org/10.1016/S0094-5765(01)00215-6).
- [12] Faraj R., Popławski B., Gabryel D., Kowalski T., Hinc K., *Adaptive airbag system for increased evacuation safety*, “*Engineering Structures*” 2022, 270, 114853-1-5, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2022.114853>.
- [13] DIN 14151-3:2024-04 Sprungrettungsgeräte - Teil 3: Sprungpolster 16 - Anforderungen, Prüfung <https://dx.doi.org/10.31030/3517953>.
- [14] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 31 sierpnia 2021 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. 2020 poz. 1123, 1610, 2112 oraz 202 poz. 180, 464), <https://www.prawo.pl/akty/dz-u-2021-1681,19145487.html> [dostęp: 3.10.2024].
- [15] Jasiński T., *Znaczenie ukierunkowanego treningu fizycznego w zwiększaniu tolerancji organizmu pilota wojskowego na przyspieszenia +Gz*, AWF im. Bronisława Czecha w Krakowie, „*Studia i Monografie*” 32, Kraków 2005.
- [16] Breszka M.A., *Wpływ ukierunkowanego treningu fizycznego podchorążych Lotniczej Akademii Wojskowej na tolerancję przyspieszeń +G*, Rozprawa doktorska, Akademia Wychowania Fizycznego Józefa Piłsudskiego w Warszawie, Warszawa 2022, https://awf.edu.pl/_data/assets/pdf_file/0004/54715/M.Breszka_rozprawa_dr.pdf [dostęp: 3.10.2024].
- [17] Zotomayora C., *Ile przeciążenia może wytrzymać przeciętny człowiek?*, <https://www.solidsmack.com/pl/fabrication/how-much-g-force-can-an-average-human-withstand> [dostęp: 3.11.2024].
- [18] *Medycyna lotnicza i kosmiczna*, Barański S. (red.), PZWL, Warszawa 1977.
- [19] Whinnery J.E., Jackson W.G., *Reproducibility of +Gz tolerance testing*, “*Aviat Space Environ Med*” 1979, 50(8), 825-8, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/496752/> [dostęp: 3.11.2024].
- [20] Whinnery J.E., Jones D.R., *Recurrent +Gz-induced loss of consciousness*, “*Aviation, space, and environmental medicine*” 1987 58(10):943-947 PMID: 3675465 - europepmc.org.

- [21] Whinnery J.E., *Recognizing+ Gz-induced loss of consciousness and subject recovery from unconsciousness on a human centrifuge*, "Aviation, space, and environmental medicine" 1990 61(5):406-411 PMID: 2350309 - europepmc.org.
- [22] Whinnery J.E., *Medical considerations for human exposure to acceleration-induced loss of consciousness*, "Aviation, space, and environmental medicine" 1991, 62(7), 618-623 PMID: 1898295.
- [23] Stoll M., *Human tolerance to positive G as determined by the physiological end points*, "The Journal of Aviation Medicine" 1956, 27(4), 356–367.
- [24] Snyder R.G., *Human Impact Tolerance*, "SAE Transactions" 1970, 79, 1375–1452, <https://doi.org/10.4271/700398>.
- [25] SAE J211-1:1995.03 Instrumentation for impact test – part 1 – electronic instrumentation [dostęp: 3.11.2024].
- [26] 057/BS/MNiSW/2022 Metody badawcze pojazdów pożarniczych oraz narzędzi i sprzętu pożarniczego CNBOP-PIB, 2023 [materiał niepublikowany].
- [27] 057/BS/MEiN/2023 Metody badawcze pojazdów pożarniczych oraz narzędzi i sprzętu pożarniczego CNBOP-PIB, 2024 [materiał niepublikowany].
- [28] Cygan Sz., *Biomechanika Inżynierska*, Instytut Metrologii i Inżynierii Biomedycznej, Politechnika Warszawska, <https://www.docsity.com/pl/docs/biomechanika-inzynierska-1/9551591/> [dostęp: 3.10.2024].

JACEK ROGUSKI, PH.D. PROF. OF THE INSTITUTE – focuses in his research work on aspects related to the safety of use of technical equipment in the firefighting sectors and the problems of operation of technical equipment. His current work focuses on issues related to the link between, on the one hand, ergonomics and ergonometry, and on the other hand, the optimization of the processes of operation and reliability of equipment using elements of the theory of reliability and virtual reality, and improving the safety of rescue operations by implementing innovative technologies. He is the author or co-author of a number of articles, monographs and presentations given at conferences in Poland and abroad. His scientific output has been recognized with 19 international and domestic awards granted at invention exhibitions for his research or development works and by his assignment to various functions in scientific committees of 10 international and domestic scientific conferences. He is the co-author of 5 patents and designs.

LESZEK JURECKI, M.SC. ENG. – a graduate of the Department of Mechanical Engineering of the Koszalin University of Technology and a deputy head of the CNBOP-PIB's Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment. He is the author and co-author of a number of publications on operation studies of fire protection vehicles and equipment. He is also the author and reviewer of CNBOP-PIB's standards in the area of fire protection vehicles and pumps. A researcher on research and development projects in the area of broadly defined fire protection technology. He specializes in the problems of stability and strength of hydraulic lifts, mechanical ladders and jump cushions, as well as the reliability of fire protection equipment. In his laboratory work, he is a specialist in fire protection vehicles, water and foam systems and fire protection pumps, as well as fire protection fittings and equipment.

DR INŻ. JACEK ROGUSKI, PROFESOR INSTYTUTU – zajmuje się naukowo aspektami związanymi z zagadnieniami bezpieczeństwa użytkowania wyposażenia technicznego w straży pożarnej oraz problemami eksploatacji urządzeń technicznych. Obecnie prowadzone prace koncentrują się na zagadnieniach związanych z powiązaniem aspektów ergonomii i ergonometrii z optymalizacją procesów eksploatacji i niezawodności sprzętu z wykorzystaniem elementów teorii niezawodności i wirtualnej rzeczywistości oraz podniesienia bezpieczeństwa działań ratowniczych przez wdrażanie innowacyjnych technologii. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów i monografii oraz wystąpień na konferencjach krajowych i zagranicznych. Dorobek naukowy został potwierdzony przyznaniem 19 międzynarodowych i krajowych wyróżnień na wystawach wynalazczości wynikających z prowadzenia badań naukowych lub prac rozwojowych oraz pełnienie funkcji w komitetach naukowych 10 międzynarodowych oraz krajowych konferencji naukowych. Współautor 5 patentów i wzorów.

MGR INŻ. LESZEK JURECKI – absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej, zastępca kierownika Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwpożarowej CNBOP-PIB. Autor i współautor szeregu publikacji z obszaru badań eksploatacyjnych pojazdów pożarniczych i sprzętu pożarniczego. Ponadto współautor i recenzent standardów CNBOP-PIB w obszarze pojazdów i pomp pożarniczych. Wykonawca projektów badawczo-rozwojowych związanych z szeroko rozumianą techniką pożarniczą. Specjalizuje się w zagadnieniach stateczności i wytrzymałości podnośników hydraulicznych, drabin mechanicznych i skokochronów, a także niezawodności sprzętu pożarniczego. W pracy laboratoryjnej jest specjalistą z zakresu pojazdów pożarniczych, układów wodno-pianowych i pomp pożarniczych, a także armatury i sprzętu pożarniczego.

RYSZARD ŁYSZCZEK, ENG. – a graduate of the Department of Transportation of the Warsaw University of Technology and a deputy head of the CNBOP-PIB Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment. A researcher on research and development projects in the area of fire protection technology. His research focuses on the problems of stability and strength of mechanical ladders, as well as jump cushions and lifting airbags. In his laboratory activities, he is a specialist in fire protection vehicles, water and foam systems and fire protection pumps, as well as technical equipment used by firefighters and rescue services.

KRZYSZTOF CYGAŃCZUK, PH.D. ENG. – completed his graduate studies at the Szczecin University and doctoral studies at the War Studies University in Warsaw, as well as post-graduate studies in the field of foreign service at the National Defence Academy, studies in data protection and information security at the Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw and studies in crisis management at the NATO Defence College in Rome and the NATO School (3 x Oberammergau). He is an assistant professor at the Department of Research Studies and Scientific Projects at the CNBOP-PIB in Józefów. He is the author and co-author of more than 30 scientific papers in the field of environmental engineering and security studies. He has participated in many international and domestic scientific conferences as member of scientific committees. A representative of Technical Committee no. 176 for Military Technology and Supply at the Polish Committee for Standardization.

INŻ. RYSZARD ŁYSZCZEK – absolwent Wydziału Transportu Politechniki Warszawskiej, zastępca kierownika Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwpowodziowej CNBOP-PIB. Realizator projektów badawczo-rozwojowych w obszarze techniki pożarniczej. Zajmuje się tematyką związaną ze statecznością i wytrzymałością drabin mechanicznych, a także prowadzi działalność w dziedzinie skokochronów i poduszek podnoszących. W działalności laboratoryjnej jest specjalistą z zakresu pojazdów pożarniczych, układów wodno-pianowych i pomp pożarniczych, a także wyposażenia technicznego stosowanego przez straż pożarną i służby ratownicze.

DR INŻ. KRZYSZTOF CYGAŃCZUK – ukończył studia magisterskie na Uniwersytecie Szczecińskim oraz studia doktoranckie w Akademii Sztuki Wojennej w Warszawie, a także studia podyplomowe z zakresu służby zagranicznej w Akademii Obrony Narodowej, ochrony danych i bezpieczeństwa informacji na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie oraz zarządzania kryzysowego w NATO Defence College (Rzym) i NATO School (3 x Oberammergau). Jest adiunktem w Dziale Prac Studialnych i Projektów Naukowych w CNBOP-PIB w Józefowie. Autor i współautor ponad 30 artykułów naukowych w dziedzinie inżynierii środowiska oraz nauk o bezpieczeństwie. Uczestnik wielu konferencji naukowych w formacie międzynarodowym i krajowym pełniąc funkcje w komitetach naukowych. Przedstawiciel Komitetu Technicznego nr 176 ds. Techniki Wojskowej i Zaopatrzenia w Polskim Komitecie Normalizacyjnym.

Karol Jędrasiak^{a*)}, Robert Marcin Wolański^{b)}, Damian Bereska^{c)}

^{a)} WSB University / Akademia WSB

^{b)} School of Aspirants of The State Fire Service in Krakow / Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

^{c)} Silesian University of Technology / Politechnika Śląska

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: kjedrasiak@wsb.edu.pl

Algorithm of Behaviour of Virtual Avatars During Public Speaking Training in a VR Environment

Algorytm zachowań wirtualnych awatarów podczas szkoleń z wystąpień publicznych w środowisku VR

ABSTRACT

Purpose: This article aims to explore and advance the field of public speaking training through the use of virtual reality (VR) and virtual avatars. The focus is on addressing the challenges faced in traditional public speaking training methods by leveraging the capabilities of VR technology.

Project and methods: The project involved developing an innovative algorithm designed to control the behaviour of virtual avatars during public speaking training in a VR environment. This algorithm integrates multiple aspects of human communication, including posture modelling, voice modulation, greetings mannerisms, eye contact management, gestural communication and interactive responsiveness. The methodology combined theoretical research and practical implementation, involving a comprehensive review of existing solutions and the development of a sophisticated, integrated algorithm. The project utilised advanced programming techniques and the latest VR technology, tested in simulated public speaking scenarios.

Results: The results of implementing this algorithm in VR-based training applications showed a significant improvement in the authenticity and effectiveness of public speaking training. The virtual avatars, powered by the algorithm, were able to simulate realistic human behaviours and responses, thus providing a more engaging and immersive learning experience for users. The application offered a variety of realistic training scenarios, interactive avatar feedback, customisation options, and progress tracking and analysis features. The study found that the algorithm successfully enhanced participants' public speaking skills, reducing anxiety and improving their overall communication abilities.

Conclusions: The research conducted in an "e-Zawody" project concludes that the integration of VR and virtual avatars significantly enhances public speaking training, offering a novel, effective and engaging approach. The development of the algorithm marks a pivotal advancement in educational technology, providing a platform that surpasses traditional training methods. However, the study acknowledges technological limitations and the need for ongoing research and development. Future efforts should focus on enhancing the realism and interactivity of virtual avatars and expanding the application of VR-based training across various fields. The findings suggest a promising direction for the future of public speaking training, with VR technology poised to play a crucial role in the evolution of educational methodologies.

Keywords: public speaking training, virtual reality, opportunity to practise, behaviour synthesis, virtual avatars

Type of article: original research article

Received: 04.11.2024; Reviewed: 19.11.2024; Accepted: 05.12.2024;

Authors' ORCID IDs: K. Jędrasiak – 0000-0002-2254-1030; R.W. Wolański – 0000-0002-5625-0936; D. Bereska – 0000-0003-1110-8212;

Percentage contribution: K. Jędrasiak – 70%; R.W. Wolański – 20%; D. Bereska – 10%;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 46–54, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.3>;

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

ABSTRAKT

Cel: Niniejszy artykuł ma na celu przedstawienie badania i rozwoju szkoleń z zakresu wystąpień publicznych z wykorzystaniem wirtualnej rzeczywistości (VR) i wirtualnych awatarów. Skupiono się na rozwiązywaniu problemów napotykanym w tradycyjnych metodach szkoleń z zakresu wystąpień publicznych poprzez wykorzystanie możliwości technologii VR.

Projekt i metody: Projekt obejmował opracowanie innowacyjnego algorytmu zaprojektowanego do kontrolowania zachowania wirtualnych awatarów podczas szkolenia z wystąpień publicznych w środowisku VR. Opracowany algorytm integruje wiele aspektów komunikacji ludzkiej, w tym modelowanie postawy, modulację głosu, powitania, zarządzanie kontaktem wzrokowym, komunikację gestykulacyjną i interaktywną responsywność. Metodyka łączyła badania teoretyczne i praktyczne wdrożenie obejmujące kompleksowy przegląd istniejących rozwiązań i opracowanie wyrafinowanego, zintegrowanego algorytmu. W projekcie wykorzystano zaawansowane techniki programowania i najnowszą przetestowaną technologię VR.

Wyniki: Wyniki wdrożenia tego algorytmu w aplikacjach szkoleniowych opartych na VR wykazały znaczną poprawę autentyczności i skuteczności szkoleń z zakresu wystąpień publicznych. Wirtualne awatary, zasilane przez algorytm, były w stanie symulować realistyczne zachowania i reakcje człowieka, zapewniając w ten sposób użytkownikom bardziej angażujące i immersyjne doświadczenie edukacyjne. Aplikacja oferowała różnorodne realistyczne scenariusze szkoleniowe, interaktywne informacje zwrotne awatara, opcje dostosowywania oraz funkcje śledzenia i analizy postępów. Badanie wykazało, że algorytm skutecznie poprawia umiejętności wystąpień publicznych uczestników, zmniejszając niepokój i poprawiając ich ogólne zdolności komunikacyjne.

Wnioski: Badania przeprowadzone w ramach projektu „e-Zawody” dowodzą, że integracja VR i wirtualnych awatarów znacząco poprawia szkolenie w zakresie wystąpień publicznych. Opracowanie algorytmu stanowi kluczowy postęp w technologii edukacyjnej, zapewniając platformę przewyższającą tradycyjne metody szkoleniowe. Jednak badanie potwierdza ograniczenia technologiczne i potrzebę ciągłych badań i rozwoju. Przyszłe wysiłki powinny skupić się na zwiększeniu realizmu i interaktywności wirtualnych awatarów oraz rozszerzeniu zastosowania szkoleń opartych na VR w różnych dziedzinach. Wyniki sugerują obiecujący kierunek dla przyszłości szkoleń w zakresie wystąpień publicznych, przy czym technologia VR jest gotowa odegrać kluczową rolę w ewolucji metodologii edukacyjnych.

Słowa kluczowe: rzeczywistość wirtualna, szkolenie z wystąpień publicznych, możliwość ćwiczenia, synteza zachowań, wirtualne awatary

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 04.11.2024; **Zrecenzowany:** 19.11.2024; **Zaakceptowany:** 05.12.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Jędrasiak – 0000-0002-2254-1030; R.W. Wolański – 0000-0002-5625-0936; D. Bereska – 0000-0003-1110-8212;

Procentowy wkład merytoryczny: K. Jędrasiak – 70%; R.W. Wolański – 20%; D. Bereska – 10%;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 46–54, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.3>;

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

Introduction

Mastering the art of public speaking is an invaluable asset in the contemporary world, profoundly impacting both the personal and professional realms. The ability to articulate thoughts and ideas confidently in front of an audience is not just a desirable skill; it is a fundamental tool for effective communication, leadership and influence. We start by exploring the multifaceted importance of public speaking, highlighting its role as a critical skill for personal development and career advancement. Public speaking extends beyond mere verbal communication; it encompasses the ability to connect with an audience, to persuade, and to convey messages in a clear and impactful manner. The relevance of this skill is evident across various sectors, including business, education, politics and even social settings. Whether it is a CEO presenting to stakeholders, a teacher engaging with students or an individual advocating for community change, the ability to speak well in public settings is a determinant of success and influence [1]. However, the journey to becoming an effective public speaker is often fraught with challenges. One of the most prevalent issues faced by many is the fear of public speaking, also known as glossophobia [2–3]. This fear can manifest in various forms [4], ranging from mild anxiety to debilitating nervousness, often impacting the speaker's ability to perform effectively. Other common challenges include difficulty in organising thoughts coherently, dealing with distractions and maintaining audience engagement. These obstacles can be daunting, but they are not insurmountable. The nature of distractions faced during public speaking is diverse. External factors such as audience behaviour, environmental noise and technical difficulties can significantly impact a speaker's concentration and delivery [5]. Moreover, internal factors like self-doubt, lack of preparation and inadequate mastery of the topic can further exacerbate the challenges. Understanding these barriers is crucial in developing strategies and training programs that address them effectively.

The enhancement of oral presentation abilities is often perceived as a labour-intensive endeavour, incongruent with the prevailing shift in tertiary education towards minimising face-to-face teaching hours. The burden of extensive curricular demands leaves educators with limited scope to impart oral presentation techniques, compelling a majority of students to resort to auto-didactic methods for skill acquisition. Consequently, augmenting avenues for practice and feedback via increased human intervention emerges as an impracticable and economically unviable strategy. This paper proposes that academic institutions embrace contemporary pedagogical technologies to address this challenge. Such technologies facilitate learning and practising opportunities that are not constrained by time or location. In this context, virtual reality (VR) emerges as a particularly promising educational technology, offering learners a comprehensive and immersive experience akin to real-world scenarios.

In the realm of training, the advancement of technology has opened up new frontiers for public speaking education. Traditional methods, such as classroom-based learning and mentorship, have been the bedrock of public speaking training for years. These approaches provide foundational skills and face-to-face interaction, which are essential components of learning. However, the integration of technology in training has introduced innovative and effective ways to enhance learning experiences. Online courses, interactive software and virtual environments have made public speaking training more accessible and engaging. One of the most promising developments in this field is the use of virtual reality (VR) [6] and augmented reality (AR) [7] technologies. These technologies offer immersive and interactive environments where learners can practise public speaking skills in a variety of simulated scenarios. This method of training allows for a safe space to practise, receive feedback and gradually build confidence without the immediate pressure of a real audience.

It is a groundbreaking approach that combines the benefits of traditional methods with the interactivity and versatility of modern technology [8]. Furthermore, these new technologies are not just beneficial for individuals aiming to improve their public speaking skills. They offer significant advantages for various groups, including business professionals, educators, students and even individuals in the public sector. Efficient training using VR and AR can help these individuals refine their communication skills, prepare for diverse speaking scenarios and ultimately enhance their effectiveness in their respective fields.

In conclusion, public speaking, essential for effective communication and leadership, remains a vital skill in the 21st century. While challenges in public speaking are common, they are not insurmountable. With the advent of new technologies and innovative training methods, there are more opportunities than ever to master this skill. As we proceed, this article will delve deeper into the technological advancements in public speaking training, particularly focusing on the use of virtual avatars and VR environments, and how they are transforming the landscape of communication training. Specifically, it will focus on identifying factors important to the effectiveness of public speaking training, and then propose an algorithm for the behaviour of virtual avatars, which was then tested using a VR simulator.

The proposed algorithm distinguishes itself through its integration of advanced posture modelling, dynamic voice modulation, precise eye contact management and responsive gestural communication, therefore creating a training tool that far surpasses existing methods in terms of realism and interactivity. These features collectively enhance the authenticity of public speaking scenarios, offering users an unparalleled level of immersion and effectiveness as regards skill development.

Review of existing solutions using virtual avatars in public speaking training

The integration of virtual avatars into public speaking training marks a significant stride in the convergence of technology and educational methodologies [9]. This chapter offers an exploration of the current landscape, encompassing both commercially available products and scholarly research. In the commercial realm, a plethora of innovative tools and programs have emerged, harnessing the power of virtual avatars to facilitate public speaking training. These solutions range from immersive VR environments that simulate real-world audiences to interactive software platforms that provide instant feedback on various aspects of public speaking. One notable category is VR-based training programs, which immerse users in a virtual environment where they can practise public speaking in front of a computer-generated audience. These programs allow for the customisation of avatars, environments and scenarios, offering a practical experience that is close to reality. The primary strength of such programs lies in their capacity to provide a safe, controlled space for users to hone their public speaking skills without the immediate stress of a live audience. However, their reliance on VR technology means they often require expensive hardware, and the experience might

not completely capture the unpredictable nature of human audience reactions.

For instance, VR Speaking Pro by VirtualSpeech [10] is a prominent example in this category. It combines VR technology with interactive elements, allowing users to practise in various settings and receive feedback on their performance. The program also includes features like eye-tracking and speech analysis, making it a comprehensive tool for users looking to improve their public speaking skills. Another significant category is interactive avatar software [11]. This software employs virtual avatars that interact with users in real time, offering feedback on speech clarity, pacing and body language. The advantage of these tools is their accessibility, as they can be used on various devices, making them readily available to a broader audience. Despite their convenience, one limitation is that their algorithms may not fully capture the complexities and subtleties of human communication. A prime example in this category is Orai - AI Speech Coach [12]. This app uses artificial intelligence to analyse speech patterns and provides users with detailed feedback on areas like filler word usage, pacing and clarity. It's an accessible tool for individuals looking to improve their speaking skills, but it might not fully replicate the experience of speaking in front of an actual audience.

Shifting focus to the academic sector, numerous studies and projects have investigated the use of virtual avatars in public speaking training [13]. This body of research is crucial for understanding both the theoretical framework and practical potential of avatar-based training methodologies [14]. One area of academic interest is research on avatar interactivity [15]. These studies examine how interactions with virtual avatars can aid in enhancing public speaking skills, focusing on user engagement, anxiety reduction and skill development. The empirical nature and data-driven approach of these studies provide valuable insights into the effectiveness of avatar-based training. However, they may be constrained by limited sample sizes and the controlled conditions of research environments. For example, a notable study in this field explored the effectiveness of virtual reality exposure therapy in public speaking anxiety [16]. This research demonstrated how VR environments, populated with interactive avatars, could significantly reduce anxiety levels in individuals with a fear of public speaking. The study provided empirical evidence supporting the use of VR and virtual avatars in public speaking training, though it also acknowledged the need for further research in diverse real-world settings. Another critical area of scholarly work involves the development of avatar algorithms [17]. This research focuses on creating sophisticated algorithms that enable virtual avatars to respond in a lifelike manner to human faces, speech and gestures [18]. Such advancements are essential for creating more realistic and effective training environments. The challenge here is often the technological limitations and the nascent stage of these developments [19]. An instance of such research includes projects focused on algorithm development for gesture recognition in public speaking training [20–21]. These projects aim to enhance the responsiveness of avatars to the physical movements and gestures of the user, thereby providing a more interactive and engaging training experience.

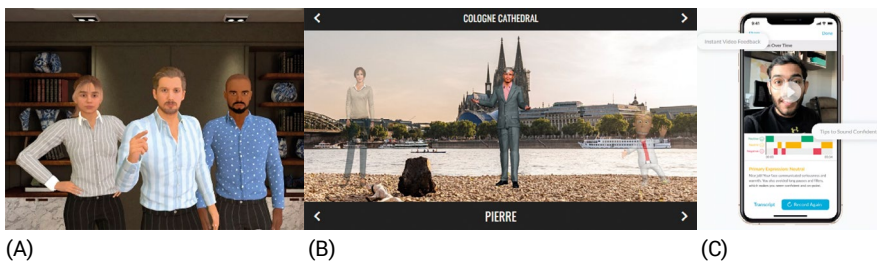


Figure 1. (A) VirtualSpeech: A VR-based training program offering immersive public speaking scenarios with customisable environments and audience feedback. (B) Avatar Software: An interactive platform enabling real-time engagement and response analysis for skill enhancement in various contexts, (C) Orai – AI Speech Coach: A mobile application providing AI-driven feedback on speech clarity, pacing and filler word usage for personal improvement Source: [10–12].

In summary, this chapter provides a comprehensive overview of the ways in which virtual avatars are currently being utilised in public speaking training. It sets the foundation for understanding the potential of these technologies and prepares the ground for subsequent chapters that propose a novel approach to avatar-based public speaking training.

Development of an integrated algorithm for virtual avatar-based public speaking training

This chapter introduces an innovative algorithm that synthesises the strengths of various existing solutions in virtual avatar-based public speaking training. The cornerstone of this sophisticated training system is the use of virtual avatars to simulate a wide range of public speaking scenarios. The focus is on key aspects such as the avatar's posture, voice, greeting, eye contact and gestural communication, aiming to create a training experience that is not just realistic and responsive but also highly interactive. This platform is designed to closely mirror the dynamics of real-world public speaking, providing users with a practical and immersive learning environment. The R&D centred on creating the algorithm for the behaviour of virtual avatars during public speaking training in a VR environment. The proposed algorithm of the virtual avatar's behaviour is as follows:

1. Posture modelling:

- Define a posture matrix P , where each element P_i represents a specific posture attribute (e.g. standing up straight, hand placement).
- Utilise a posture adjustment function $f_p(P)$ to dynamically alter the avatar's posture based on the context of the speech.

The concept of posture modelling is pivotal in creating a virtual avatar that exhibits realistic human-like behaviours. To achieve this, we define a posture matrix P , where each element P_i represents a specific attribute of posture, such as standing upright, the positioning of hands or the overall body stance. This matrix is not static but is designed to evolve and change in response to the context of the speech being delivered. The posture adjustment function $f_p(P)$ plays a crucial role in this process. It dynamically alters the avatar's posture based on the context

and content of the speech. For instance, during a speech that demands assertiveness, the function might adjust the avatar to adopt a more upright and open stance, whereas a more contemplative speech might see the avatar assuming a relaxed posture. This dynamic adjustment not only contributes to the realism of the avatar but also aids in conveying the intended message and emotion of the speech.

2. Voice modulation:

- Implement a voice modulation function $V(s,t)$, where s represents speech content and t represents tone. This function adjusts pitch, pace and volume to suit the speech.

Voice modulation is another critical element in mimicking human speech patterns. The voice modulation function $V(s,t)$, where s represents the speech content and t the tone, is designed to adjust the pitch, pace and volume of the avatar's speech. This function ensures that the avatar's voice changes in response to the emotional content of the speech, the intended audience and the context of the presentation. For example, an inspiring speech would require different voice modulation compared to a technical presentation. The modulation function, therefore, enhances the authenticity of the avatar's speech, making the VR training experience more engaging and effective.

3. Greetings mannerisms:

- Define a greeting protocol G that varies based on the perceived audience type (formal, informal).
- Employ a function $F_g(G)$ to execute the greeting with appropriate gestures and verbal cues.

Greetings play a significant role in establishing a connection with the audience. The greeting protocol G varies based on the perceived audience type, be it formal or informal. This protocol includes not just verbal greetings but also non-verbal cues such as handshakes, nods or smiles. The function $F_g(G)$ is employed to execute these greetings with appropriate gestures and verbal cues. This aspect of the algorithm ensures that the avatar can appropriately initiate interactions, setting the tone for the remainder of the presentation.

4. Eye contact management:

- Create an eye contact matrix E , with parameters like the duration, frequency and direction of eye movements.

- b. A function $F_e(E, t)$ modulates eye contact over time t , ensuring natural and engaging gaze behaviour.

Effective eye contact is a key component of engaging public speaking. The eye contact matrix E is developed to manage parameters such as the duration, frequency and direction of eye movements of the avatar. The function $F_e(E, t)$ modulates eye contact over time t , ensuring natural and engaging gaze behaviour. This function allows the avatar to mimic human eye behaviour, such as making eye contact with different sections of the audience, thereby enhancing the realism of the avatar's interactions.

5. Gestural communication:

- a. Develop a gesture library GL containing a range of hand and body gestures.
- b. Use a gesture selection function $f_{gl}(G, L, c)$, where c is the context or emotion to be conveyed, to choose appropriate gestures.

Gestures are integral to conveying emotions and emphasising points during speech. The gesture library GL contains a wide range of hand and body gestures. The gesture selection function $f_{gl}(G, L, c)$ is used, where c represents the context or emotion to be conveyed, to choose appropriate gestures. This function enables the avatar to use gestures that are congruent with the speech content and emotional tone, thereby enriching the communication process.

6. Interaction and responsiveness:

- a. Implement an interaction function $I(u, a)$, where

u is user input (like questions or reactions) and a is the avatar's response.

- b. This function ensures the avatar's behaviour is responsive and interactive, simulating a real-world conversation.

Interactive and responsive behaviour is essential for a realistic avatar. The interaction function $I(u, a)$, where u is user input (such as questions or reactions) and a is the avatar's response, is implemented to simulate real-world conversations. This function allows the avatar to respond in a manner that is consistent with human responses, thereby enhancing the training experience.

7. Overall behavioural algorithm:

- a. The final behaviour B of the avatar is a composite function:
- b. An avatar controlled by this equation is ensured to dynamically simulate all aspects of a real person's behaviour during public speech, offering a realistic and immersive training experience.

The final behaviour B of the avatar is a composite function of all the previously mentioned elements. This comprehensive algorithm ensures that the avatar controlled by this equation dynamically simulates all aspects of a real person's behaviour during public speech. The aim is to offer a realistic and immersive training experience that closely mirrors real-life public speaking scenarios.

```

Initialise avatar posture, voice, gestures

FOR each interaction in presentation:
    Analyse context (e.g. speech tone, audience behaviour)
    Adjust posture using function P(context)
    Modulate voice using function V(speech_content, tone)
    Update eye contact using function E(duration, direction)
    Select gesture using function G(context, emotion)
    Generate response using function R(user_input)
END FOR
  
```

Figure 2. Pseudocode illustrating the main steps of the behaviour algorithm for virtual avatars during public speaking simulations in a VR environment. The algorithm dynamically adjusts posture, voice modulation, eye contact, gestures and avatar responses based on context analysis and user interactions

Source: Own elaboration.

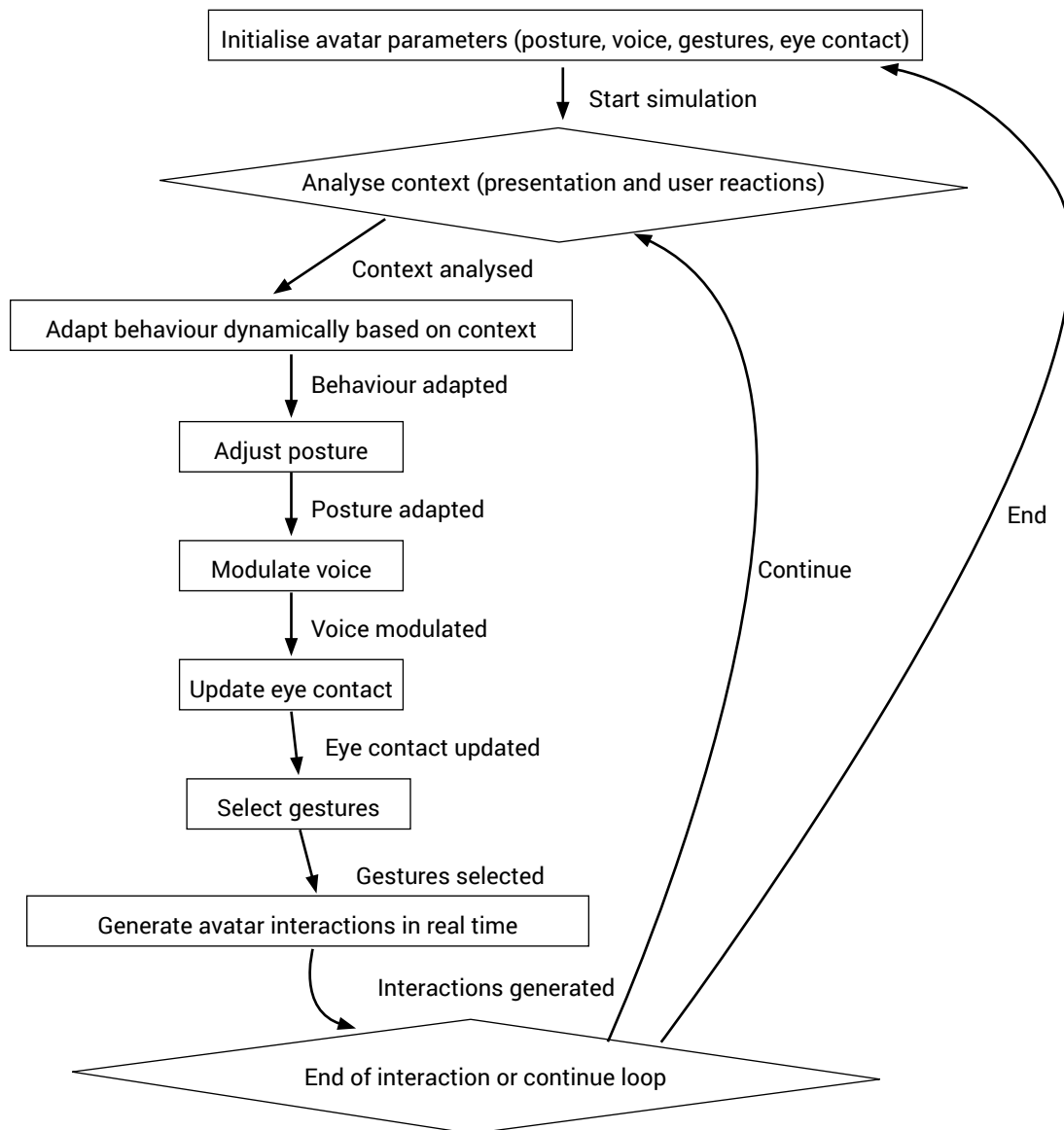


Figure 3. Flowchart illustrating the key steps of the virtual avatar behaviour algorithm in a VR-based public speaking simulation. The diagram outlines the initialisation of avatar parameters, context analysis, dynamic adaptation of behaviours (posture, voice modulation, eye contact, gestures) and real-time generation of interactive responses

Source: Own elaboration.

This algorithm (see Fig. 2 and 3), when integrated into a graphic engine like Unity 3D or Unreal, can effectively simulate the nuanced behaviours necessary for an interactive and realistic experience in a VR environment.

Implementation of the algorithm in public speaking and professional skills training applications

In this chapter, we delve into the practical application and implementation of the innovative algorithm developed in Chapter III. This phase marks a significant step in the evolution of virtual

reality (VR) and virtual avatar technologies, applied in the realms of public speaking and professional skills training. The development of this application, supported by the National Centre for Research and Development (NCBiR) under the "e-Zawody" project, embodies a pioneering approach to skill enhancement through advanced technological means.

The application boasts an array of features that make it a comprehensive tool for learning and development:

- Realistic training scenarios: Users are presented with a variety of scenarios, each designed to mimic real-life public speaking environments. These range from formal business presentations to informal group discussions, allowing users to practise and hone their skills in diverse settings.

- Interactive virtual avatars: The avatars, powered by the algorithm, interact with users in a dynamic and realistic manner. They provide reactions and feedback that reflect typical audience responses, offering a unique opportunity for users to experience and adapt to different public speaking dynamics.
- Customisation options: The application allows users to tailor their training experience. This includes adjusting the virtual environment, selecting different types of avatars and choosing specific public speaking scenarios based on individual learning objectives.
- Progress tracking and analysis: A key feature of the application is its ability to track user progress. It provides detailed analytics on various aspects of public speaking, such as speech clarity, pacing and audience engagement, thereby enabling users to track their improvement over time.

The development and integration of the algorithm into a user-friendly VR application were not without their challenges. One

of the primary challenges was ensuring the realism and responsiveness of the virtual avatars. Achieving a lifelike interaction required sophisticated programming and continuous refinement of the avatar's AI-driven responses. Another challenge was creating an intuitive user interface that could be easily navigated by individuals with varying levels of technological proficiency.

To overcome these challenges, the development team employed an agile methodology, allowing for continuous testing and iteration based on user feedback. Collaboration with VR experts and user experience designers was crucial in refining the application's interface and ensuring a seamless experience for the end users. The implemented application (see Fig. 4) represents a significant advancement in the field of educational technology and public speaking training. By harnessing the power of VR and AI, it provides an immersive and interactive platform that goes beyond traditional training methods. The realistic scenarios and personalised feedback offered by the application have the potential to greatly enhance users' public speaking and professional skills.

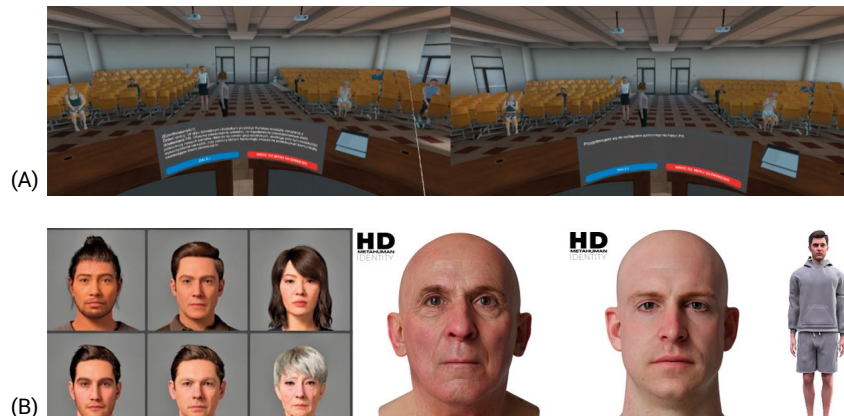


Figure 4. (A) Example screens from the implemented VR-based public speaking training application, showcasing a simulated audience environment with real-time feedback for users. The interface allows users to practise speech delivery with immersive and interactive scenarios. (B) Examples of virtual meta-humans with varying graphical quality used as avatars, ranging from standard models to highly detailed HD representations. These avatars enhance the realism of simulations and offer diverse customisation options for tailored training experiences

Source: [22].

Conclusions

The presented research results have highlighted the immense potential of VR and virtual avatars in enhancing public speaking skills. This novel approach transcends the boundaries of traditional training methods, offering an experience that is both interactive and immersive, while also allowing for extensive customisation. The development of a sophisticated algorithm that intricately models aspects such as posture, voice modulation and gestural communication represents a significant leap in creating virtual environments that are not only realistic but also responsive to the nuances of human interaction. Despite these advancements, the research also acknowledges the existing technological limitations as regards fully capturing the complexities of human behaviour and communication. This points to a need for ongoing research and development to refine the algorithms and

technologies underpinning virtual avatars, with the aim of achieving a higher degree of realism and interactivity. Moreover, the study recognises the challenges related to user accessibility and the affordability of VR technology. The current reliance on potentially expensive hardware could limit the reach of this innovative training method. Therefore, future efforts should be directed towards making VR-based public speaking training more accessible, both in terms of cost and user interface design. Looking forward, the research suggests several avenues for further exploration. One key area is the enhancement of the realism and interactivity of virtual avatars. Improving aspects such as gesture recognition, facial expression dynamics and the overall interactive capabilities of these avatars is crucial for creating an experience that more closely mirrors real human interactions. Additionally, the application of VR-based public speaking training could be expanded beyond its current realms. Investigating its utility in

diverse fields such as education, business and healthcare could provide valuable insights into its broader impacts and potential applications. Conducting longitudinal studies to assess the long-term effectiveness of this training approach, as well as incorporating continuous user feedback, are also essential steps. These initiatives would not only validate the efficacy of VR-based training but also ensure that future developments are aligned with user needs and preferences.

While the algorithm represents a significant technological advancement, the development and implementation process presented several challenges. One major issue was ensuring the seamless integration of the avatar's behavioural elements – such as posture, voice modulation and gestural communication – into a cohesive and responsive system. Synchronising these elements in real time required addressing computational limitations and optimising the algorithm to minimise latency. Another challenge involved balancing the realism of avatar responses with computational efficiency. Achieving lifelike gestures, accurate voice modulation and dynamic eye contact required iterative testing and refinement of algorithms to ensure that the VR experience remained smooth and immersive, even on less advanced hardware. Furthermore, user feedback highlighted the importance of intuitive interface design. Initial versions of the application faced

usability challenges, particularly for users with limited familiarity with VR technology. Addressing these issues necessitated close collaboration with user experience designers and iterative testing to refine the interface and training scenarios.

In summary, this research marks a pivotal advancement in the integration of virtual reality and avatar technology into public speaking training. It presents an innovative, effective and engaging approach to mastering a skill vital to personal and professional development. As technology continues to evolve and intersect with educational methodologies, new opportunities and challenges will undoubtedly emerge, reshaping the landscape of learning and skill enhancement.

Acknowledgments

This work was supported by the National Centre for Research and Development under the Things Are for People competition, contract number: "Things are for People"/0056/2020-00, project title "E-ZAWODY – Development of technological solutions with the use of VR allowing people with disabilities to improve their professional competencies through the implementation of work in virtual space".

Literature

- [1] Okoro E., *Book Review: The Power of Speech*, "Business Communication Quarterly" 2013, 76, 1, 114–118, <https://doi.org/10.1177/1080569912469097>.
- [2] Dansieh S. A., Owusu E., Abudu Seidu G., *Glossophobia: The fear of public speaking in ESL students in Ghana*, "Language Teaching" 2021, 1, 1, 22–35, <https://doi.org/10.30560/lt.v1n1p22>.
- [3] Tse A.Y.H., *Glossophobia of university students in Malaysia*, "International Journal of Asian Social Science" 2012, 2, 11, 2061–2073.
- [4] Herumurti D., et al., *Overcoming glossophobia based on virtual reality and heart rate sensors*, 2019 IEEE International Conference on Industry 4.0, Artificial Intelligence, and Communications Technology (IAICT), IEEE, 2019, <https://doi.org/10.1109/ICIAICT.2019.8784846>.
- [5] Darling A.L., Dannels D.P., *Practicing engineers talk about the importance of talk: A report on the role of oral communication in the workplace*, "Communication Education" 2023, 52, 1, 1–16, <https://doi.org/10.1080/03634520302457>.
- [6] Slater M., Pertaud D-P., Steed A., *Public speaking in virtual reality: Facing an audience of avatars*, IEEE Computer Graphics and Applications 1999, 19, 2, 6–9, <https://doi.org/10.1109/38.749116>.
- [7] Parmar D., Bickmore T.W., *Making it personal: Addressing individual audience members in oral presentations using augmented reality*, "Proceedings of the ACM on Interactive, Mobile, Wearable and Ubiquitous Technologies", 2020, 4, 2, 1–22, <https://doi.org/10.1145/3397336>.
- [8] Boetje J., van Ginkel S., *The added benefit of an extra practice session in virtual reality on the development of presentation skills: A randomized control trial*, "Journal of Computer Assisted Learning" 2021, 7, 1, 253264, <https://doi.org/10.1111/jcal.12484>.
- [9] Daniels M. M., Palaoag T.D., Daniels M., *Efficacy of virtual reality in reducing fear of public speaking: A systematic review*, "IOP Conference Series: Materials Science and Engineering" 2020, 803, 1.
- [10] Internet source: virtuallspeech.com, [accessed: 08.02.2023].
- [11] Internet source: charamel.com/en/software, [accessed: 08.02.2023].
- [12] Internet source: <https://orai.com/>, [accessed: 09.02.2023].
- [13] Reeves R., et al., *A meta-analysis of the efficacy of virtual reality and in vivo exposure therapy as psychological interventions for public speaking anxiety*, "Behaviour Modification" 2022, 46.4, 937–965, <https://doi.org/10.1177/0145445521991102>.
- [14] Brown D. E., et al., *Design and evaluation of an avatar-based cultural training system*, "The Journal of Defense Modeling and Simulation", 2019, 16, 2, 159–174, <https://doi.org/10.1177/154851291880>.
- [15] Jensen J. F., *Virtual inhabited 3D worlds: interactivity and interaction between avatars, autonomous agents and users*, "Virtual interaction: Interaction in virtual inhabited 3D worlds", Springer, London 2001, 23–47, <https://doi.org/10.1007/978-1-4471-3698-9>.
- [16] Lindner P., et al., *Virtual Reality exposure therapy for public speaking anxiety in routine care: a single-subject*

- effectiveness trial*, "Cognitive Behaviour Therapy" 2021, 50, 1, 67–87, <https://doi.org/10.1080/16506073.2020.1795240>.
- [17] Wang G., et al., *Development of metaverse for intelligent healthcare*, "Nature Machine Intelligence" 2022, 4, 11, 922–929, <https://doi.org/10.1038/s42256-022-00549-6>.
- [18] Yampolskiy R. V., Brendan K., Anil K. J., *Face recognition in the virtual world: recognizing avatar faces*, 11th International Conference on Machine Learning and Applications. Vol. 1, IEEE, 2012.
- [19] Gallace A., et al., *Multisensory presence in virtual reality: possibilities & limitations*, "Multiple sensorial media advances and applications: New developments in MulSeMedia", IGI Global, 2012, 1–38, <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-821-7.ch001>.
- [20] Yang L. I., et al., *Gesture interaction in virtual reality*, "Virtual Reality & Intelligent Hardware" 2019, 1, 1, 84–112, <https://doi.org/10.3724/SP.J.2096-5796.2018.0006>.
- [21] El-Yamri M., et al., *Designing a VR game for public speaking based on speakers features: a case study*, "Smart Learning Environments" 2019, 6, 1, 12, <https://doi.org/10.1186/s40561-019-0094-1>.

SEN. BRIG. ROBERT MARCIN WOLAŃSKI, PH.D. – author of a number of publications, studies and innovative achievements in both didactic and development projects. All of them refer to key issues related to fire protection, population protection and industry education. In his work, he actively participates in the organisation of events (scientific conferences, symposia, seminars) related to the exchange of scientific ideas in fire protection and population protection. Protection of cultural heritage is a special field of activity. He is one of the organisers and speakers at the scientific conference cyclically organised at the PSP School of Aspirants devoted to securing heritage against extraordinary threats. In particular, he draws attention to the need to implement the most modern solutions in systems and organisation of heritage protection. Currently, he continues his work at the Centre for the Protection of Population and Cultural Property at SA PSP in Kraków and is a member of the Council for the Protection of Cultural Property of the Chief Commander of the PSP. He carries out research and innovation in the field of safety of structures and systems using the latest technologies.

DAMIAN BERESKA, PH.D. – In 1993 he graduated from the Faculty of Automatic Control, Electronics and Computer Science of the Silesian University of Technology in Gliwice, majoring in automatic control and robotics and specialising in robotics. In the same year he began working as an assistant at the Department of Robotics and Discrete Process Automation at the Institute of Automatic Control. In 2002 he defended with distinction his doctoral thesis entitled "Research on the correlation between the components of the color vector in digital color images" and obtained the title of doctor of technical sciences. Since 2002 he has been employed as an assistant professor at the Department of Control Theory, and since 2004 at the newly established Control and Robotics Department.

KAROL JĘDRASIAK, PH.D. – academic teacher, didactician and manager, author of 88 scientific publications, including 3 scientific monographs with high citability. The author's scientific experience includes participation in 24 research and development projects, also as a manager. Active participant in more than 30 scientific conferences and symposia. Expert of the WSL2014-2020 ROP, member of the Steering Committee of the Game INN Sector Program and the Society for Image Processing. As a result of his previous work and cooperation with industry, he participated in the development of 32 claims of intellectual property rights (6 granted patents, 8 patent applications, 18 design registration rights). Specialist in computer vision, computer graphics, artificial intelligence tools, computer, database and sensor system development. Since 2008, he has held management positions in private companies. For many years he was CEO of VR Technology, a company developing algorithms in the area of data analysis, commercializing innovative solutions in virtual reality technology and simulation as well as coaching systems. In 2024, he was awarded the Medal of the National Education Commission and a certificate of appreciation for his exceptional contribution to the successful implementation of the "e-Instructor Certification Programme" by NATO Assistant Secretary General for Operations Tom Goffus.

W sprzedaży:

INŻYNIERYJNE METODY ochrony przeciwpożarowej

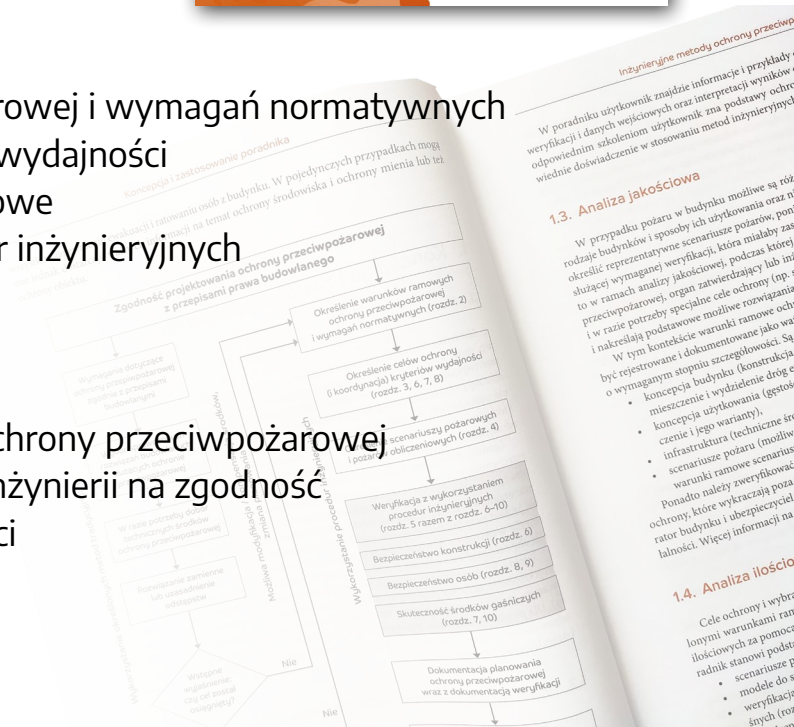
Ponad 400 stron z praktyczną wiedzą inżynierską na temat: wentylacji pożarowej, symulacji pożarów, pożarów obliczeniowych i ewakuacji

Publikacja, która posłuży specjalistom w projektowaniu bezpieczeństwa pożarowego budynków na każdym etapie tego procesu



W środku między innymi:

- ✓ warunki ramowe ochrony przeciwpożarowej i wymagań normatywnych
- ✓ cele ochrony (i koordynacja) kryteriów wydajności
- ✓ scenariusze pożarów i pożary obliczeniowe
- ✓ weryfikacja z wykorzystaniem procedur inżynierskich
- ✓ bezpieczeństwo konstrukcji
- ✓ bezpieczeństwo osób
- ✓ skuteczność środków gaśniczych
- ✓ dokumentacja dotycząca planowania ochrony przeciwpożarowej
- ✓ test akceptacyjny zgodnie z zasadami inżynierii na zgodność z celami ochrony i kryteriami wydajności



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

ZAPRASZAMY DO ZAKUPU
<https://online.cnbop.pl>

oraz do zapoznania się
z pełną ofertą wydawniczą
w zakładce WYDAWNICTWA
na stronie **cnbop.pl**

Robert Marcin Wolański^{a)}, Karol Jędrasiak^{b*)}

^{a)} School of Aspirants of The State Fire Service in Krakow / Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

^{a)} WSB University / Akademia WSB

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: kjedrasiak@wsb.edu.pl

A Personalised Optimising Level Adaptation (OLA) Difficulty Algorithm for Scenario Simulations in Professional VR Simulators

Spersonalizowany algorytm poziomu trudności Optimising Level Adaptation (OLA) do symulacji scenariuszy w profesjonalnych symulatorach VR

ABSTRACT

Purpose: This study introduces the Optimising Level Adaptation (OLA) algorithm, designed to enhance scenario simulations for professional VR training by dynamically adjusting difficulty levels to match user performance, thereby supporting personalised learning and readiness for high-stakes situations such as firefighting and emergency response.

Project and methods: The OLA algorithm divides scenario activities into blocks and adjusts their difficulty based on user performance in comparison to a reference group of AI-controlled agents. The algorithm's efficacy was tested across three proprietary VR simulators covering diverse professional scenarios: public speaking, hydrogen electrolysis and mechanical technician operations. Each scenario was divided into ten blocks of varying difficulty (easy, medium, difficult), dynamically adjusted based on the user's performance. This structure enables rapid adaptation, making it particularly beneficial for fire and rescue training, where realistic, yet scalable, scenario complexity is critical to preparing for unpredictable conditions in the field.

Results: Testing with 30 participants per simulator revealed an average final score of approximately 75%, closely aligning with the target success rate of 70%. The average number of difficulty level switches (between 0.8 and 1.16 across scenarios) demonstrated the algorithm's effective adaptation to user performance, thus ensuring optimal engagement. The OLA algorithm's capacity to tailor training difficulty in real time reflects its potential to enhance skill retention and readiness in emergency response settings, where maintaining user engagement at appropriate challenge levels is essential for preparedness in life-threatening situations.

Conclusions: The OLA algorithm provides significant advancements in personalised VR training, particularly within fire- and rescue-related applications, by maintaining optimal engagement and adaptive challenge levels. The adaptability demonstrated across multiple scenarios indicates its versatility and potential for use in diverse high-risk training applications. Future research could enhance the OLA algorithm's effectiveness by refining scenario block determination, therefore contributing to improved response times, decision-making and operational efficiency in the emergency services.

Keywords: VR training, personalised learning, adaptive difficulty, fire and rescue training, scenario simulation, professional development, Optimising Level Adaptation (OLA), emergency response preparedness

Type of article: original research article

Received: 04.11.2024; Reviewed: 26.11.2024; Accepted: 05.12.2024;

Authors' ORCID IDs: K. Jędrasiak – 0000-0002-2254-1030; R.W. Wolański – 0000-0002-5625-0936;

Percentage contribution: K. Jędrasiak – 70%; R.W. Wolański – 30%;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 56–65, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.4>;

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

ABSTRAKT

Cel: W niniejszym badaniu przedstawiono algorytm Optimizing Level Adaptation (OLA), który ma na celu ulepszenie symulacji scenariuszy na potrzeby profesjonalnych szkoleń VR poprzez dynamiczne dostosowywanie poziomów trudności do wydajności użytkownika, wspierając w ten sposób spersonalizowane nauczanie i gotowość do radzenia sobie w sytuacjach wysokiego ryzyka, takich jak gaszenie pożarów i reagowanie na sytuacje awaryjne.

Projekt i metody: Algorytm OLA dzieli działania scenariusza na bloki i dostosowuje ich trudność na podstawie wyników użytkownika w porównaniu do grupy referencyjnej agentów kontrolowanych przez AI. Skuteczność algorytmu została przetestowana w trzech zastrzeżonych symulatorach VR obejmujących różne scenariusze zawodowe: wystąpienia publiczne, elektrolizę wodoru i operacje technika mechanicznego. Każdy scenariusz został podzielony na dziesięć bloków o różnym stopniu trudności (łatwy, średni, trudny), dynamicznie dostosowywanych na podstawie wyników użytkownika.

Taka struktura umożliwia szybką adaptację, co czyni ją szczególnie korzystną w przypadku szkoleń strażaków i ratowników, gdzie realistyczna, ale skalowalna złożoność scenariusza ma kluczowe znaczenie dla przygotowania się na nieprzewidywalne warunki w terenie.

Wyniki: Testowanie z udziałem 30 uczestników na symulatorze wykazało średni wynik końcowy wynoszący około 75%, co ściśle odpowiada docelowemu wskaźnikowi sukcesu wynoszącemu 70%. Średnia liczba zmian poziomu trudności (od 0,8 do 1,16 w różnych scenariuszach) wykazała skuteczną adaptację algorytmu do wydajności użytkownika. Zdolność algorytmu OLA do dostosowywania poziomu trudności szkolenia w czasie rzeczywistym odzwierciedla jego potencjał do poprawy retencji umiejętności i gotowości w sytuacjach reagowania kryzysowego.

Wnioski: Algorytm wpływa znacząco na zmiany w zakresie spersonalizowanych szkoleń VR, szczególnie w przypadku zastosowania ich w straży pożarnej i ratownictwie, ze względu na optymalne zaangażowanie i dostosowanie poziomów wyzwań. Zdolność adaptacji wykazana w wielu scenariuszach wskazuje na jego wszechstronność i potencjał w przypadku różnorodnych zastosowań szkoleniowych wysokiego ryzyka. Przyszłe badania mogą zwiększyć skuteczność algorytmu OLA poprzez udoskonalenie określania bloków scenariuszy. Przyczyni się to do skrócenia czasu reakcji, podejmowania decyzji i zwiększenia wydajności operacyjnej w służbach ratunkowych.

Słowa kluczowe: szkolenie VR, scenariusz symulacji, optymalizacja poziomu adaptacji (OLA), przygotowanie do sytuacji krytycznych, szkolenie ratowniczo-gaśnicze

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 04.11.2024; **Zrecenzowany:** 26.11.2024; **Zaakceptowany:** 05.12.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Jędrasiak – 0000-0002-2254-1030; R.W. Wolański – 0000-0002-5625-0936;

Procentowy wkład merytoryczny: K. Jędrasiak – 70%; R.W. Wolański – 30%;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 56–65, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.4>;

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

Introduction

Numerous professions, including those in the fire service, military, police and medical sectors, require their personnel to be adept at making informed decisions in situations characterised by risk and pressure. To achieve proficiency in these areas, individuals need to engage in training that involves critical and illustrative scenarios pertinent to their profession. However, acquiring such experience through direct on-the-job training in high-stakes environments is impractical, as misjudgements could potentially result in dire consequences that endanger lives. Scenario-based training (SBT) is considered an effective and suitable method for training in these contexts [1–2]. SBT allows participants to engage in interactive role-playing exercises, often with live actors, within made-up scenarios that mimic real-life challenges. These exercises traditionally take place in physically simulated settings, providing a secure and controlled context wherein learners can witness the outcomes of their decisions. Nonetheless, SBT is hampered by significant logistical and organisational requirements, such as setting up locations, developing complex scenario narratives, training role players and ensuring the simultaneous availability of everyone involved (actors, trainees, instructors). A further limitation is the difficulty of modifying scenarios on the fly to tailor the training experience, as well as challenges in monitoring and systematically analysing scenario events, which becomes particularly complex in large-scale scenarios spread across multiple locations. The adoption of modern technologies that utilise educational games within VR/AR/XR could address these issues by transferring SBT into a virtual gaming environment, where aspects of the training are managed through artificial intelligence [1], [3–4]. This article introduces a novel concept and algorithm designed to facilitate such technology by incorporating SBT into an intelligent gaming environment that can adjust the level of difficulty, thereby encouraging regular participation in training. Previous research has delved into adaptive gamification systems [5]; however, this article distinguishes between adaptive gamification, where the system adjusts to various scenarios, and

personalised gamification, which allows the system to tailor its response more precisely to the specific situation and the traits of individual users.

Related work

Maintaining user engagement with educational tools presents a considerable challenge, especially after the initial allure and novelty have started to diminish over time [6–8]. It is critical to acknowledge the diversity within user demographics, as individuals from varied cultural and demographic backgrounds are known to exhibit distinct preferences [9], behaviours [10] and motivational drivers [11]. This diversity inherently leads to a wide array of responses and interactions when these individuals are placed under similar conditions or faced with similar educational content [12–13].

A pivotal element in keeping users motivated and engaged with educational content is the careful consideration of the perceived difficulty level of the tasks or challenges presented [14–15]. It is well established in educational psychology that primarily there are two forms of motivation that influence human behaviour and engagement: intrinsic and extrinsic motivation [6]. Intrinsic motivation is characterised by an individual's internal desire to partake in an activity purely because they find it inherently interesting or enjoyable. In contrast, extrinsic motivation is driven by external factors, such as the pursuit of rewards or the desire for acknowledgment and approval from others. For intrinsic motivation to be effectively fostered within an educational tool, it is crucial that the user perceives the content not only as challenging but also as something within their grasp to overcome [14]. When the content is perceived as overly simplistic, it can lead to a sense of boredom and disengagement. Conversely, if the content is deemed excessively difficult, it may result in feelings of frustration and discouragement, leading users to abandon the activity altogether. Leveraging

the concept of Vygotsky's zone of proximal development [16], it is suggested that providing users with tasks that are challenging yet achievable with some guidance, promotes an optimal learning environment. Given the variance in skill levels among users within any given group, personalising the difficulty level of educational games or tools becomes a necessity to keep different users continuously engaged and motivated [17].

In contrast to human instructors, who can intuitively assess a learner's skill level, educational tools rely on computational models to evaluate and adapt to a user's skill level accurately. These models need to be fast, reliable and capable of adapting to various game scenarios or educational content types without hindering the user experience, which is achieved, for instance, by avoiding disruptive assessments such as skill-related questionnaires. The adaptation of teaching strategies to align with the individual user's skill level has been demonstrated to significantly enhance learning outcomes [18]. In the study conducted by the authors of [18], two distinct algorithms were utilised to model user skills: a straightforward additive model and a Bayesian network. While the additive model tends to be prone to local extremities, the Bayesian approach simplistically categorises skills into binary states: learned or not learned. In another noteworthy study by the authors of [19], an educational tool designed to teach word-reading skills employed a specially designed Bayesian Active Learning model. This model strategically selected words that were predicted to yield the most significant increment in knowledge acquisition, albeit without taking into account the learner's motivation levels.

In the broader context of computer-based learning, the development of intelligent tutoring systems (ITS) has made strides in delivering personalised educational experiences. These systems have proven to be effective tutors by offering individualised lessons tailored to the user's needs and skill levels [20]. ITS achieve this through sophisticated student modelling techniques that aim to capture and represent various user characteristics [21]. One method of assessing user skills within such systems is through the application of models from the item response theory (IRT). IRT comprises a set of statistical models that correlate a user's responses to specific items with latent traits or skills [22]. Typically, these models operate under the assumption that skill levels remain constant over time, an assumption that holds for skills that evolve very slowly or during short assessment periods. However, in educational settings where skills can develop rapidly, this static skill assumption may not be appropriate. More specialised models [23–24], such as Bayesian Knowledge Tracing [25], take into consideration the dynamic nature of learning, focusing on modelling the acquisition of skills over time, particularly for tasks that require a granular understanding, like solving intricate mathematical equations. Despite their potential, the practical implementation of these advanced models is often hindered by the extensive time and resources required for data collection and parameter tuning, and the necessity for domain-specific expertise, making them less flexible and more costly to deploy [26].

An alternative approach to skill assessment in educational tools is the utilisation of rating or ranking systems. These systems assign a numerical rating to represent the user's skill level,

thus offering a holistic view of their capabilities. Such systems have been widely used in various contexts, including sports and competitive gaming, to match individuals or teams of comparable skill levels, leading to outcomes like wins, losses or draws [27]. They are also employed in educational settings to match users with tasks or items of appropriate difficulty levels [28]. Rating systems boast several significant advantages for use within educational tools. Firstly, they are relatively straightforward to implement and can be easily adapted to different types of applications without requiring extensive input from domain experts. Secondly, despite their simplicity, rating systems have been shown to achieve high levels of accuracy [28–29] effectively tailoring the difficulty level of tasks so that users can successfully complete approximately 70% of the challenges posed. This level of success rate is considered optimal for maintaining user engagement and motivation. Lastly, rating systems are not confined to any specific domain, making them versatile tools that can be applied across a wide range of skill-based educational content.

Contemporary rating systems, such as the Elo rating system [30], are based on the principle of paired comparison, similar to the Rasch model utilised in IRT [31]. In these systems, each user starts with an initial numerical rating that estimates their skill level. Similarly, each task or item is assigned a rating that reflects its difficulty level. The pairing of users with tasks is then facilitated by a selection algorithm that aims to minimise the discrepancy between the user's rating and the task's rating. Following the completion of a task, the ratings for both the user and the task are updated based on the outcome. When the difference between the user's rating and the task's rating is minimal, the likelihood of the user successfully completing the task approaches 50%. As the discrepancy widens, the system predicts a greater probability of success or failure, depending on whether the user's rating is higher or lower than the task's rating. The Elo system adjusts the ratings based on the outcome, rewarding users more significantly for overcoming challenging tasks and penalising them less for failing tasks that were deemed difficult. Conversely, for tasks that are easier relative to the user's skill level, the system applies a greater penalty for incorrect answers and a smaller reward for correct ones. The accuracy of these predictions and adjustments relies on the precision of the ratings, which are continually refined through each interaction, making the system increasingly reliable over time.

The Glicko rating system [29] builds upon the Elo system by incorporating an uncertainty factor represented by the rating deviation (RD), which is an estimate of the standard deviation of the rating. A high RD suggests a lack of recent user engagement with the system or limited gameplay, indicating that the rating may not be a reliable measure of the user's current skill level. Conversely, a low RD indicates consistent user engagement and a more dependable rating. The Glicko system adjusts ratings by taking into account the RD of both the user and the task, allowing for more significant rating changes when the RD is high. This feature enables the system to more rapidly approximate the user's true skill level, especially when the initial rating significantly deviates from the true rating. However, one inherent limitation of rating systems is their design goal of achieving

a 50% success rate for users, which can lead to perceptions of the game being overly difficult.

Drawing from various studies [28], [32], it has been observed that users are optimally challenged and engaged when they successfully complete tasks around 70% of the time. Achieving this higher success rate requires a high degree of precision in the rating adjustment process. Rating systems can be calibrated to select tasks that increase the likelihood of user success, based on their current performance, thereby elevating the success rate from 50% to 70%. While rating systems perform optimally with a robust dataset for calibration, the practicality of gathering sufficient data to accurately estimate task difficulty remains a challenge.

Furthermore, it is essential to acknowledge situations where gamification strategies fail to make a positive impact on learning outcomes, or might even have adverse effects [33]. Such failures are often attributed to poor gamification design, such as the adoption of a one-size-fits-all approach that fails to accommodate the diverse needs and preferences of users [34–35]. Recent research efforts [36–37] have focused on incorporating user preferences and feedback into the design of educational content, employing machine learning algorithms to tailor the content based on this input. This approach represents a step towards creating a more personalised learning experience by considering individual user preferences during content creation. However, this data collection typically occurs before content generation, which

suggests an opportunity for further enhancement. Allowing users to modify the content during their engagement could facilitate the automatic generation of a more varied and personalised experience, adapting in real time to user feedback and modifications.

Algorithm for selecting the optimal level of difficulty adaptation

The proposed algorithm for personalising the level of perceived difficulty for a simulator user is based on dividing all evaluated scenario activities into blocks corresponding to particular actions (e.g. unscrewing a wheel, removing old brake pads) and using a large group of autonomous agents controlled via AI as a reference group trying to complete the same scenario as the user. This makes it possible to obtain a reference level of difficulty for each block of the scenario and to predict the user's future results by analogy with the group of agents to which his previous actions were most similar. This approach makes it possible to dynamically change the difficulty level of the user's next scenario block depending on the size of the effect [38] calculated between the user's predicted score and the reference distribution of the final scores of all agents. This approach allows the difficulty level of individual blocks to be optimally determined in response to the user's progress (see Fig. 1).

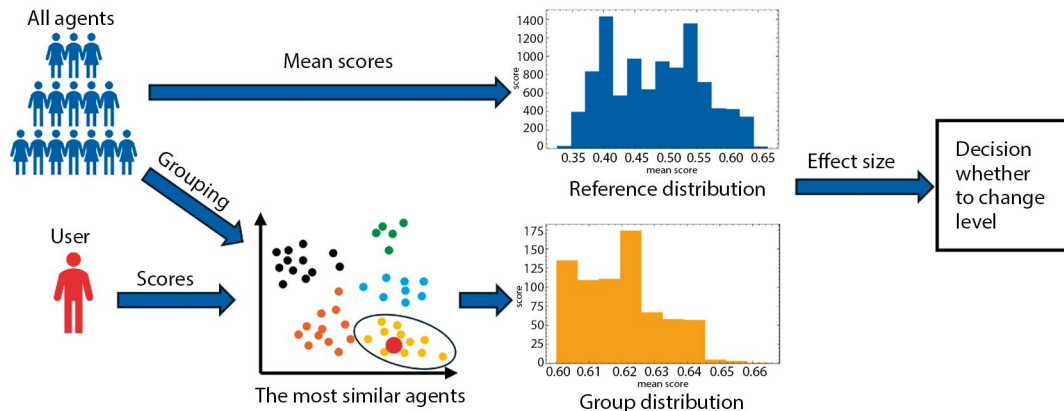


Figure 1. Visual representation of the steps of the proposed algorithm

Source: Own elaboration.

The detailed steps for implementing the algorithm are as follows:

Preparatory steps:

- Step 1. Designate a group of agents (using AI/first users). Each agent for each scenario block has a Score function value that determines the final score of the entire scenario (see Fig. 2).
- Step 2. Calculate the average value from the set of Score function values of all agents, and then prepare the distribution of these values (reference distribution) (see Fig. 3).

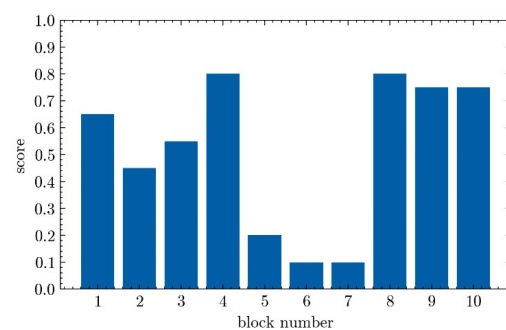


Figure 2. Example bar chart of single agent's Score function values for the entire scenario

Source: Own elaboration.

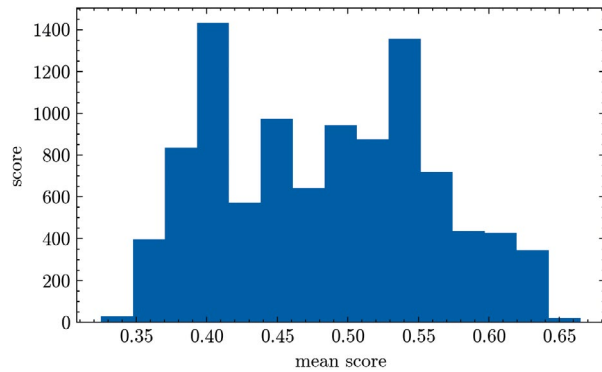


Figure 3. Example histogram showing the distribution of Score function values for all agents

Source: Own elaboration.

Steps for evaluating an exercise participant:

- Step 3. Update the value of the exercise participant's Score function upon completion of each block of the exercise scenario (see Fig. 4).

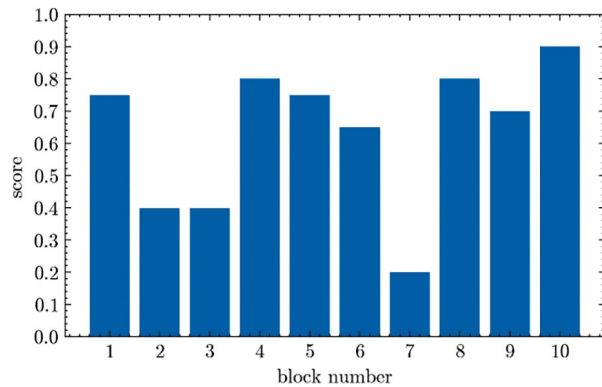
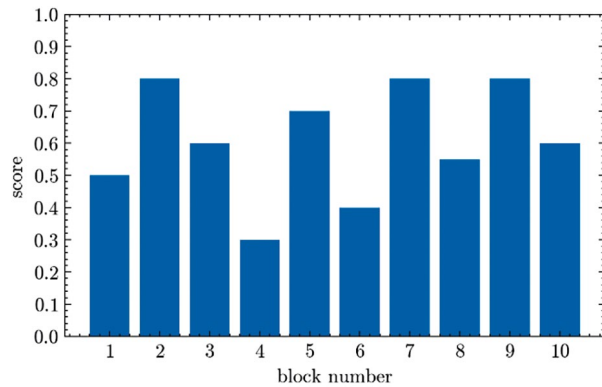


Figure 3. Example histogram showing the distribution of Score function values for all agents

Source: Own elaboration.

- Step 4. Group the values of the Score function in the result set containing the values of all agents and completed user exercises with the goal of ultimately finding results similar to the current journey through the scenario by the exercise participant under consideration. Implement the step by performing grouping using the k-means method with gap statistics, which automatically

determines the number of target k groups for the k-means algorithm.

- Step 5. Calculate the centroids of the groups found in step 4 and use the Euclidean metric to find the group most similar to the current score of the exercise participant under consideration.
- Step 6. Calculate the mean value of the Score function for all values in the set of the group most similar to the current score of the exercise participant under consideration at that moment. Create a group distribution for this group (see Fig. 5).

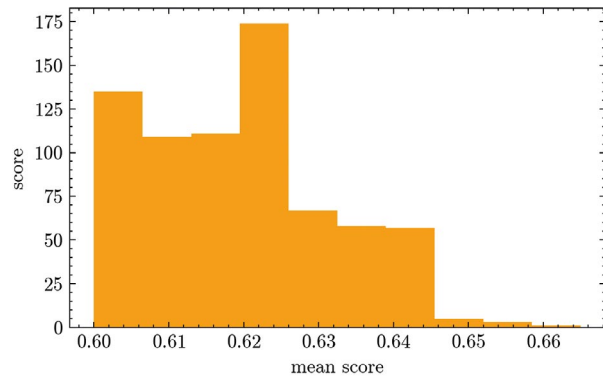


Figure 5. Example of the distribution of Score function values for the group of results most similar to the exercise participant currently under consideration

Source: Own elaboration.

- Step 7. Compare the group distribution with the reference distribution using a measure called effect size, specifically Hedge's g, a measure of effect for differentially distributed groups with different standard deviations [38–39]:

$$g = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{S_{pooled}}, S_{pooled} = \sqrt{\frac{(n_1 - 1) * s_1^2 + (n_2 - 1) * s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}.$$

- Step 8. Interpret the result. If the value of the result is considered the so-called large positive effect, then change the level of difficulty to more difficult. If the value of the result is considered to be a so-called large negative effect, then change the level of difficulty to an easier one. Typically, values greater than or equal to 1.3 are taken as the absolute value of g for large effect.

A pivotal step within the proposed algorithm involves the comparison of the exercise participant's score distribution with a reference distribution established based on AI-controlled agents. To facilitate this comparison, the algorithm adopts Hedge's g as a measure of effect size, enabling the identification of significant deviations and supporting dynamic adjustments to difficulty levels. While this method proves effective in addressing large-scale differences, it does not inherently evaluate the likelihood that the observed data align with the assumed distributions. An alternative approach might involve the explicit calculation of distributional consistency through statistical means. Methods

such as the Kolmogorov–Smirnov test or Bayesian inference techniques could offer a more rigorous assessment of the fit between observed data and the reference distributions. Although such methods provide a robust framework for validation, they are computationally demanding, which might render them impractical for real-time applications. The selection of Hedge's g reflects a deliberate emphasis on computational efficiency and operational simplicity. Designed for scenarios where rapid adjustments are critical, Hedge's g is particularly well suited for comparing distributions with differing standard deviations. Its clear thresholds for identifying substantial positive or negative effects streamline decision-making within dynamic VR training environments, where responsiveness to user performance is paramount. However, it is important to acknowledge that this approach may omit finer aspects of statistical alignment, which could lead to subtle inconsistencies in the adaptation process. Future refinements to the algorithm could incorporate methods capable of directly estimating distributional consistency. For instance, likelihood-based metrics or advanced machine learning models could augment the existing framework, yielding a more nuanced understanding of the relationship between observed performance and the reference standards. Such enhancements would not only elevate the precision of the algorithm but also broaden its applicability across a range of training scenarios, ultimately contributing to the robustness of personalised VR learning environments.

The proposed algorithm leverages artificial intelligence-controlled agents as a reference group to evaluate the difficulty levels of scenario blocks. To ensure the agents' performance aligns with human behaviours, a structured training process was implemented using the proximal policy optimization (PPO) reinforcement learning algorithm, known for its stability in dynamic environments. The training process began with the collection of initial datasets derived from human participants completing similar scenarios during earlier experiments. These datasets included detailed behavioural metrics such as task completion times, error rates and decision-making pathways, serving as a foundation for training the agents. The reward functions for the agents were designed to emulate desirable human performance metrics specific to each simulator. In the public speaking simulator, rewards were assigned for maintaining consistent eye contact, minimising filler words and adhering to optimal speech pacing. In the hydrogen electrolysis simulator, rewards prioritised achieving correct process parameters, minimising material waste and maintaining safety standards. Similarly, in the mechanical technician simulator, agents were rewarded for accurately diagnosing issues, selecting appropriate tools and following precise repair procedures. Agents were trained on over 10,000 iterations per scenario block, with the complexity of the simulated environments increasing progressively. Initial training iterations focused on simple task environments to allow agents to grasp foundational behaviours, while later iterations introduced variability, such as random errors or unexpected conditions, to simulate real-world challenges. After completing training, the agents' performance was validated against expert human users through key metrics, including success rates, task completion times and decision-making accuracy. Statistical analyses, including paired

t-tests and effect size calculations, revealed that the agents achieved approximately 92% alignment with human performance across all simulators. However, discrepancies were observed in context-dependent decisions, such as managing audience questions in the public speaking simulator or diagnosing rare mechanical faults. Despite the promising alignment, these results indicate that further improvements are necessary to enhance the agents' ability to replicate nuanced human decision-making processes. Future enhancements could involve incorporating advanced neural architectures, such as transformer-based models, to improve context sensitivity. Additionally, the integration of human-in-the-loop training methods, where experts provide real-time feedback during the agents' training process, could refine their behaviour. Domain-specific refinements, including embedding expert knowledge into simulator scenarios, may further enhance the agents' reliability. Overall, the training process underscores the importance of robust data collection, carefully designed reward systems and iterative refinement. While the current approach demonstrates that AI agents can provide a statistically consistent baseline for scenario difficulty evaluation, future work should explore longitudinal studies comparing agent-guided adaptations with human-only baselines to deepen understanding of their effectiveness in high-stakes training environments.

Method test results

The proposed algorithm was tested on the scenarios of the available three proprietary VR simulators. The first step of the research was to convert the activity in the simulator scenario evaluations into blocks. To facilitate comparison of the algorithm's performance, it was assumed for each case that the scenarios should be divided into 10 blocks. The first simulator provided training in public speaking. Its scenario, after being divided into 10 consecutive blocks, looked as follows:

- Analysis of the target group and establishment of training objectives.
- Preparation of the training program, including speaking and presentation techniques.
- Gathering teaching and support materials.
- Setting up the training room in a way that supports interaction.
- Starting the training with ice-breaker exercises and presenting the agenda.
- Conducting the theoretical part on the structure and construction of speeches.
- Implementing practical exercises on speaking and self-presentation.
- Recording participants' speeches and analysing them.
- Discussing individual feedback and ways to overcome stage fright.
- Summarising the training and establishing a plan for further development of participant skills.

The second simulator provided training in hydrogen electrolysis. Its scenario, when divided into 10 consecutive blocks, was as follows:

- Selecting a suitable electrolyser and preparing the workstation.
- Preparing an electrolyte solution, such as water with the addition of electrolyte.
- Connecting the electrolyser to a power source (DC voltage).
- Dipping the electrodes into the electrolyte solution.
- Starting the electrolysis process by turning on the current.
- Observing the release of gases at the electrodes (hydrogen at the cathode, oxygen at the anode).
- Monitoring process parameters, such as current and solution temperature.
- Collecting the separated hydrogen in a suitable container.
- Terminating the electrolysis by turning off the current.
- Analysing the efficiency of the process and the quality of the hydrogen produced.

The third simulator allowed training in the operations of a mechanical technician. Its scenario, when divided into 10 consecutive blocks, was as follows:

- Analysing the technical documentation of the machine or equipment.

- Preparing the tools and materials needed to perform the task.
- Performing visual inspection and diagnosis of the condition of the equipment.
- Disassembling damaged or worn parts.
- Cleaning and preparing the area for new components.
- Installing new or reconditioned parts.
- Adjusting and calibrating installed components.
- Carrying out trial runs and operation tests.
- Making any corrections and adjustments.
- Preparing a report on the work performed and commissioning the device.

For each simulator, the reference number of AI agents who tried to achieve the best possible result on a given scenario was taken as 10,000. Then, 30 people were asked to test each simulator with the implemented dynamic mechanism, OLA, for changing the difficulty level of a particular block. Each of the above blocks had three variants: easy, medium and difficult. The default starting variant for each tester was the medium level. The number of difficulty level switches and the final score that the tester obtained were studied.

This section shows the results obtained when testing on Scenario 1, Scenario 2 and Scenario 3 (see Table 1).

Table 1. Results obtained for Scenarios 1, 2 and 3

User no.	Number of difficulty level switches – Scenario 1	Final result – Scenario 1	Number of difficulty level switches – Scenario 2	Final result – Scenario 2	Number of difficulty level switches – Scenario 3	Final result – Scenario 3
1	0	65	0	64	1	60
2	0	68	1	98	1	55
3	1	71	1	64	1	85
4	0	60	1	88	0	69
5	1	80	1	77	0	72
6	1	75	0	55	1	91
7	1	77	1	95	1	52
8	1	83	1	90	1	78
9	1	90	1	92	1	78
10	1	95	2	80	0	57
11	1	88	1	92	1	73
12	1	56	1	55	1	55
13	2	67	2	69	1	96
14	2	71	1	94	1	87
15	2	73	2	63	1	94
16	2	76	2	61	2	68
17	1	80	1	84	1	98
18	1	82	1	88	0	66
19	1	83	1	93	1	80
20	2	70	1	95	1	97
21	2	77	2	56	1	91

User no.	Number of difficulty level switches – Scenario 1	Final result – Scenario 1	Number of difficulty level switches – Scenario 2	Final result – Scenario 2	Number of difficulty level switches – Scenario 3	Final result – Scenario 3
22	2	66	2	50	2	57
23	1	90	2	55	0	73
24	2	56	1	96	1	78
25	1	88	2	66	0	69
26	2	55	1	73	1	80
27	0	70	0	70	1	86
28	1	73	0	61	0	60
29	1	80	0	75	0	70
30	1	82	1	84	1	99

Source: Own elaboration.

In order to analyse the number of necessary scenario changes, an analysis was made of the average performance of the algorithm during the analysed scenarios (see Table 2).

Table 2. Summary of the average number of difficulty level switches and the average final scores of test participants per scenario

Scenario No.	Average number of difficulty level switches	Average final score
Scenario 1	1.16	74.9%
Scenario 2	1.10	76.1%
Scenario 3	0.80	75.8%

Source: Own elaboration.

The average final score of approximately 75% is close to the considered preferred value of 70%, which means that the scenario was neither too easy nor too difficult for the testers, regardless of their starting level of competence in the scenario. The average number of difficulty level switches of individual blocks above 1 means that the dynamic adaptation of the perceived difficulty level influenced the final result. We interpret the results as very promising and requiring further research into how to dynamically determine the number of scenario blocks and whether the difficulty levels should have discrete or more continuous values.

Conclusions

The OLA (Optimising Level Adaptation) algorithm represents a significant advancement in the realm of scenario simulations for professional training within VR environments. This algorithm, through its dynamic adjustment of difficulty levels, addresses a critical aspect of personalised learning and training – maintaining optimal engagement and challenge levels for users. The study's findings, derived from testing the OLA algorithm across three distinct VR simulators, offer several key insights and implications for the future of professional training and educational technologies.

Firstly, the algorithm's ability to adapt the difficulty of scenarios in real time, based on the user's performance, underscores the importance of personalised learning environments. Traditional one-size-fits-all approaches often fail to meet the diverse needs of learners, leading to either under-challenging or overwhelming. OLA's dynamic adjustment mechanism ensures that each user is continuously engaged at an optimal level of difficulty, thus enhancing learning effectiveness and user satisfaction. The test results across different scenarios – public speaking, hydrogen electrolysis and mechanical technician operations – highlight the algorithm's versatility and effectiveness. With an average final score of approximately 75% across all scenarios, the OLA algorithm successfully maintained a balance between challenge and achievability. This balance is crucial for promoting user engagement and motivation, in line with educational theories such as Vygotsky's zone of proximal development. The average number of difficulty level switches observed during the tests indicates that the algorithm actively responds to user performance, making necessary adjustments to maintain the ideal difficulty level. This dynamic adaptation not only supports personalised learning but also reflects a significant improvement over static educational content, which cannot adjust to individual user needs. Moreover, the OLA algorithm's foundation in comparing user performance with that of a reference group of AI-controlled agents introduces a novel approach to difficulty adjustment. This method allows for a more objective and data-driven determination of difficulty levels, potentially offering a more standardised and fair training environment across different users. The promising results of this study suggest several avenues for future research and development. Exploring the dynamic determination of the number of scenario blocks and the granularity of difficulty levels could further enhance the algorithm's effectiveness. Additionally, integrating more nuanced user feedback and preferences into the algorithm's adjustments could create even more personalised and engaging learning experiences.

In conclusion, the OLA algorithm represents a step forward in the integration of intelligent adaptive systems into educational technologies, particularly in high-stakes professional training

environments. Its ability to tailor learning experiences to individual user needs not only enhances learning outcomes but also opens up new possibilities for the application of VR and AI in education and training. Further research and development in this area have the potential to revolutionise how professionals are trained, making learning more effective, engaging and tailored to individual needs.

Acknowledgments

This work was supported by the National Centre for Research and Development under the Things Are for People competition, contract number: "Things are for People"/0056/2020-00, project title "E-ZAWODY – Development of technological solutions with the use of VR allowing people with disabilities to improve their professional competencies through the implementation of work in virtual space."

Literature

- [1] Cannon-Bowers J., Burns J., Salas E., Pruitt J., *Advanced technology in scenario-based training*, in: *Making Decisions Under Stress*, J. Cannon-Bowers, E. Salas (eds), APA, 1998, 365–374, <https://doi.org/10.1037/10278-014>.
- [2] Van den Bosch K., Riemersma J.B.J., *Reflections on scenario-based training in tactical command*, in: *Scaled worlds: Development, validation, and applications*, S. Schiflett (ed.), Ashgate 2004, 1–21.
- [3] Oser R.L., Cannon-Bowers J.A., Salas E., Dwyer D.J., *Enhancing human performance in technology-rich environments: guidelines for scenario-based training*, "Human Technology Interaction in Complex Systems" 1999, 9, 175–202.
- [4] Riedl M.O., Young R.M., *Narrative planning: Balancing plot and character*, "Journal of Artificial Intelligence Research", 2010, 39, 1, 217–268.
- [5] Böckle M., Novak J., Bick M., *Towards adaptive gamification: a synthesis of current developments*, in: *Proceedings of the 25th European Conference on Information Systems (ECIS)*. Guimarães, Portugal.
- [6] Gockley, R., Bruce, A., Forlizzi, J., Michalowski, M., Mundell, A., Rosenthal, S., *Designing robots for long-term social interaction*, in: *IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*, IROS 2005, 1338–1343.
- [7] Kanda T., Hirano T., Eaton D., Ishiguro H., *Interactive robots as social partners and peer tutors for children: A field trial*, "Human-Computer Interaction" 2004, 19(1), 61–84.
- [8] Leite I., Martinho C., Paiva A., *Social robots for long-term interaction: A survey*, "International Journal of Social Robotics" 2013, 5(2), 291–308, <https://doi.org/10.1007/s12369-013-0178-y>.
- [9] Yee N., *Gaming motivations align with personality traits*, 2016, <https://quanticfoundry.com/2016/01/05/personality-correlates/> [accessed: 04.2020].
- [10] Rodrigues L., Brancher J.D., *Improving players' profiles clustering from game data through feature extraction*, in: *Proc. SBGames Comput. Track*, 2018, 177–186.
- [11] Orji R., Vassileva J., Mandryk R.L., *Modeling the efficacy of persuasive strategies for different gamer types in serious games for health*, "User Model. User-Adapted Interact." 2014, 24, 5, 453–498.
- [12] Knutas A., Van Roy R., Hynninen T., Granato M., Kasurinen J., Ikonen J., *A process for designing algorithm-based personalized gamification*, "Multimedia Tools Appl.", 78, 10, 13593–13612, 2019.
- [13] Rodrigues L., Toda A., Oliveira W., Palomino P., Isotani S., *Just beat it: Exploring the influences of competition and task-related factors in gamified learning environments*, in: *Proc. Braz. Symp. Comput. Educ.*, 2020, 461–470.
- [14] Csikszentmihalyi M., *Flow: The psychology of the optimal experience*, Harper Collins Publishers, New York 1990.
- [15] Deci E.L., Ryan R.M., *Intrinsic motivation and self-determination in human behaviour* Plenum, New York 1985.
- [16] Vygotsky L.S., *Mind in society: The development of higher psychological processes*, Harvard University Press, Cambridge 1978, <https://doi.org/10.2307/j.ctvjf9vz4>.
- [17] Janssen J.B., Van der Wal C.C., Neerincx M.A., Looije R., *Motivating children to learn arithmetic with an adaptive robot game*, in: *Proceedings of the third international conference on Social Robotics*, 2011, 153–162, https://doi.org/10.1007/978-3-642-25504-5_16.
- [18] Leyzberg D., Spaulding S., Scassellati B., *Personalizing robot tutors to individuals' learning differences*, in: *Proceedings of the 2014 ACM/IEEE international conference on human-robot interaction*, 2014, 423–430.
- [19] Gordon G., Breazeal C., *Bayesian active learning-based robot tutor for children's word-reading skills*, in: *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 29(1), <https://doi.org/10.1609/aaai.v29i1.9376>.
- [20] VanLehn K., *The relative effectiveness of human tutoring, intelligent tutoring systems, and other tutoring systems*, "Educational Psychologist" 2011, 46(4), 197–221, <https://doi.org/10.1080/00461520.2011.611369>.
- [21] Polson M.C., Richardson J.J., *Foundations of intelligent tutoring systems*, Psychology Press, New York 2013.
- [22] Lord F.M., Novick M.R., Birnbaum A., *Statistical theories of mental test scores*, Addison-Wesley 1968.
- [23] Chrysafiadi K., Virvou M., *Student modeling approaches: A literature review for the last decade*, "Expert Systems with Applications" 2013, 40(11), 4715–4729, <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.02.007>.
- [24] Desmarais M.C., de Baker R.S., *A review of recent advances in learner and skill modeling in intelligent learning*

- environments, "User Modeling and User-Adapted Interaction" 2012, 22(1-2), 9–38, <https://doi.org/10.1007/s11257-011-9106-8>.
- [25] Corbett A.T., Anderson J.R., *Knowledge tracing: Modeling the acquisition of procedural knowledge*, "User Modeling and User Adapted Interaction" 1994, 4(4), 253–278.
- [26] Pelanek R., *Applications of the ELO rating system in adaptive educational systems*, "Computers & Education" 2016, 98, 169–179, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.03.017>.
- [27] Hvattum L.M., Arntzen H., *Using ELO ratings for match result prediction in association football*, "International Journal of forecasting" 2010, 26(3), 460–470, <https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2009.10.002>.
- [28] Klinkenberg S., Straatemeier M., Van der Maas H.L.J., *Computer adaptive practice of maths ability using a new item response model for on the fly ability and difficulty estimation*, "Computers & Education" 2011, 57(2), 1813–1824, <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.02.003>.
- [29] Glickman M.E., *Parameter estimation in large dynamic paired comparison experiments*. *Journal of the Royal Statistical Society*, "Series C-Applied Statistics" 1999, 48, 377–394.
- [30] Elo A.E., *The Rating of Chess Players Past and Present*, Arco, New York 1978.
- [31] Rasch G., *Probabilistic models for some intelligence and attainment tests*, The Danish Institute of Educational Research, Copenhagen 1960.
- [32] Eggen T.J.H.M., Verschoor A.J., *Optimal testing with easy or difficult items in computerized adaptive testing*, "Applied Psychological Measurement" 2006, 30(5), 379–393, <https://doi.org/10.1177/0146621606288890>.
- [33] Toda A.M., Valle P.H.D., Isotani S., *The dark side of gamification: An overview of negative effects of gamification in education*, in: *Higher Education for All. From Challenges to Novel Technology Enhanced Solutions*, A.I. Cristea, I.I. Bittencourt, F. Lima (eds.), Springer, Berlin 2018, 143–156.
- [34] Morschheuser B., Hassan L., Werder K., Hamari J., *How to design gamification? A method for engineering gamified software*, "Inf. Softw. Technol." 2018, 95, 219–237.
- [35] Liu D., Santhanam R., Webster J., *Toward meaningful engagement: A framework for design and research of gamified information systems*, "MIS Quart." 2017, 41, 4, 1011–1034.
- [36] Liapis A., Yannakakis G. N., Togelius J., *Adapting models of visual aesthetics for personalized content creation*, "IEEE Transactions on Computational Intelligence and AI in Games", 2012, 4(3), 213–228, <https://doi.org/10.1109/TCIAIG.2012.2192438>.
- [37] Snodgrass S., Mohaddesi O., Hartevelde C., *Towards a generalized player model through the PEAS framework*, in: *FDG '19: Proceedings of the 14th International Conference on the Foundations of Digital Games*, <https://doi.org/10.1145/3337722.3341856>.
- [38] Gignac G.E., Szodorai E.T., *Effect size guidelines for individual differences researchers*, "Personality and individual differences" 2016, 102, 74–78, <https://doi.org/10.1016/j.paid.2016.06.069>.
- [39] Enzmann D., *Notes on effect size measures for the difference of means from two independent groups: The case of Cohen'sd and Hedges'g*, 2015, 12, <https://doi.org/10.13140/2.1.1578.2725>.

SEN. BRIG. ROBERT MARCIN WOLAŃSKI, PH.D. – author of a number of publications, studies and innovative achievements in both didactic and development projects. All of them refer to key issues related to fire protection, population protection and industry education. In his work, he actively participates in the organisation of events (scientific conferences, symposia, seminars) related to the exchange of scientific ideas in fire protection and population protection. Protection of cultural heritage is a special field of activity. He is one of the organisers and speakers at the scientific conference cyclically organised at the PSP School of Aspirants devoted to securing heritage against extraordinary threats. In particular, he draws attention to the need to implement the most modern solutions in systems and organisation of heritage protection. Currently, he continues his work at the Centre for the Protection of Population and Cultural Property at SA PSP in Kraków and is a member of the Council for the Protection of Cultural Property of the Chief Commander of the PSP. He carries out research and innovation in the field of safety of structures and systems using the latest technologies.

KAROL JĘDRASIAK, PH.D. – academic teacher, didactician and manager, author of 88 scientific publications, including 3 scientific monographs with high citability. The author's scientific experience includes participation in 24 research and development projects, also as a manager. Active participant in more than 30 scientific conferences and symposia. Expert of the WSL2014-2020 ROP, member of the Steering Committee of the Game INN Sector Program and the Society for Image Processing. As a result of his previous work and cooperation with industry, he participated in the development of 32 claims of intellectual property rights (6 granted patents, 8 patent applications, 18 design registration rights). Specialist in computer vision, computer graphics, artificial intelligence tools, computer, database and sensor system development. Since 2008, he has held management positions in private companies. For many years he was CEO of VR Technology, a company developing algorithms in the area of data analysis, commercializing innovative solutions in virtual reality technology and simulation as well as coaching systems. In 2024, he was awarded the Medal of the National Education Commission and a certificate of appreciation for his exceptional contribution to the successful implementation of the "e-Instructor Certification Programme" by NATO Assistant Secretary General for Operations Tom Goffus.

Krzysztof Cygańczuk^{a*)}, Jacek Roguski^{a)}

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

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

The Consequences of Mining Damage and their Impact on the Natural Environment – a Case Study of Trzebinia

Konsekwencje szkód górniczych i ich wpływ na środowisko naturalne. Trzebinia – studium przypadku

ABSTRACT

Purpose: This article attempts to present issues related to surface subsidence in areas of closed and inactive coal and lignite mines. Land reclamation is the necessity of degrading the natural environment and restoring it to its original state.

Introduction: Europe is giving up fossil fuels to reduce CO₂ emissions into the atmosphere. It is also a result of the embargo imposed on 24 February 2022 on the Russian Federation on coal exports to European Union countries. This results in the search for alternatives to fossil fuels in all sectors of the economy. The direction of the search is towards choosing "green energy", which, due to its potential wide application, is already being treated as an instrument of climate neutrality. Many EU countries have decided to achieve climate neutrality by 2050, which means reducing greenhouse gas emissions by approximately 95% compared to the baseline year of 1990. However, achieving climate neutrality will require eliminating emissions not only in the electricity sector, but also in other sectors. As a result of this process, further areas requiring action after the mines are closed will be created, especially in Upper Silesia. Reclamation of post-mining areas is a very difficult task because there is no universal method of planning reclamation. Many forms of environmental degradation have been observed during mining activities.

Methodology: The article uses theoretical and practical research methods, including the analysis of a report on satellite methods, which was developed on the basis of data from satellite radar interferometry. The land surface movement system belongs to the group of products of the Copernicus program, which involves monitoring the land surface, and its implementation was commissioned by the European Environment Agency (EEA). Moreover, the article was based on publications by domestic and foreign authors, authorities in the field of environmental engineering.

Conclusions: Methods for reducing the negative impact of mining on the environment have long been developed and improved at all stages of mining activity, from reconnaissance work to the closure of a mining plant. One of the ways to reduce the negative impact of mining on the world's environment is the recultivation of post-mining areas, thanks to which the areas transformed due to mining activities are restored to their utility or natural values.

Keywords: post-mining areas, environmental degradation, reclamation, land regeneration

Type of article: case study

Received: 14.11.2024; Reviewed: 09.12.2024; Accepted: 10.12.2024;

Authors' ORCID IDs: K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880, J. Roguski – 0000-0002-7848-053X;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 66–82, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.5>;

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

ABSTRAKT

Cel: W niniejszym artykule podjęto próbę przybliżenia zagadnień związanych z osiadaniem powierzchni na terenach zamkniętych i tymczasowo nieczynnych kopalń węgla kamiennego i brunatnego. W obliczu degradacji środowiska naturalnego niezbędnym środkiem mającym na celu przywrócenie terenu do stanu pierwotnego jest jego rekultywacja.

Wprowadzenie: Europa rezygnuje z paliw kopalnych, aby ograniczyć emisję CO₂ do atmosfery. Przyczynia się do tego również nałożone 24 lutego 2022 r. na Federację Rosyjską embargo na eksport węgla do krajów Unii Europejskiej. Poszukuje się alternatyw dla paliw kopalnych we wszystkich sektorach gospodarki. Kierunek poszukiwań zmierza na wybór „zielonej energii”, która ze względu na potencjalne szerokie zastosowanie, już zaczyna być traktowana jako instrument neutralności emisyjnej. Wiele krajów UE postanowiło, że do 2050 r. osiągnie wspomnianą neutralność emisyjną, co oznacza zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych o ok. 95% w porównaniu z rokiem wyjściowym 1990. Osiągnięcie neutralności emisyjnej obligować będzie jednak do wyeliminowania emisji nie tylko w elektroenergetyce, lecz także w innych sektorach. W wyniku tego procesu, zwłaszcza na Górnym Śląsku,

powstaną kolejne obszary wymagające działań po zamknięciu kopalń. Rekultywacja terenów pogórnich jest zadaniem bardzo trudnym, gdyż nie ma uniwersalnej metody planowania rekultywacji. W trakcie działalności górniczej zaobserwowano wiele form degradacji środowiska naturalnego.

Metodologia: W artykule wykorzystano teoretyczne i praktyczne metody badawcze, w tym analizę raportu w zakresie metod satelitarnych, który został opracowany na podstawie danych z satelitarnej interferometrii radarowej. System o ruchach powierzchni terenu należy do grupy wyrobów programu Copernicus, polegającym na monitorowaniu powierzchni lądów, a jego implementację zlecono Europejskiej Agencji Środowiska (EEA). Ponadto artykuł został oparty na publikacjach krajowych i zagranicznych autorów, autorytetów w dziedzinie inżynierii środowiska.

Wnioski: Metody ograniczania negatywnego wpływu górnictwa na środowisko są od dawna opracowywane i udoskonalane na wszystkich etapach działalności górniczej, od prac rozpoznawczych po likwidację zakładu górniczego. Jednym ze sposobów ograniczenia negatywnego wpływu górnictwa na środowisko jest rekultywacja terenów pogórnich, dzięki której terenom przekształconym w wyniku działalności górniczej przywracane są wartości użytkowe lub przyrodnicze.

Słowa kluczowe: tereny pogórnice, degradacja środowiska, rekultywacja, regeneracja terenu

Typ artykułu: studium przypadku

Przyjęty: 14.11.2024; Zrecenzowany: 09.12.2024; Zaakceptowany: 10.12.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Cygańczuk – 0000-0003-1550-5880, J. Roguski – 0000-0002-7848-053X;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 66–82, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.5>;

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

Introduction

It is an undeniable fact that over the recent decades excavation mining operations have led to environmental degradation, despite the efforts made to try and minimise their impact [1–3]. From the orogen mechanics perspective, mining exploitation alters the original status of orogen stresses and deformations [4–5]. One of the most typical structure of such alterations is the continuous deformation of the terrain surface in the form of soil settlement. It has a significant impact on the degradation of the surrounding terrain and infrastructure. Over the last century, many methods and theories have been developed to predict mining surface deformations during deposit exploitation [6–10]. Those methods include in particular determining the status of deformation after the termination of deposit exploitation and the passing of sufficient time necessary for the subsidence process to fade.

The terrain surface deformation process during underground operations and directly after termination is a characteristic feature of mining areas. During the underground exploitation, the terrain surface subsides, which causes permanent alterations of the orogen through dislocation of rocks and soils and flow of underground waters towards active pits. This process contributes to significant terrain subsidence. Due to the shallow placement of coal deposits, surface mining exploitation causes relatively significant terrain deformations.

In the United States, shallow mining at the depth of approx. 300–400 m below ground level resulted in the alteration of land use in many places [11]. Many former pastures changed into flooded areas as a result of formation of major regional subsidising basins and their subsequent flooding.

In Europe, due to the location of mining operations in highly urbanised areas, this problem is primarily connected with the occurrence of mining damage to civil structures. It is usually damage to residential buildings, failures of transmission lines and damage to transport paths (roads, railways) [12–13].

Wprowadzenie

Niezaprzeczalnym faktem jest, że wydobywczą działalność górnica na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci doprowadziła do degradacji środowiska, pomimo podejmowanych prób minimalizacji jej oddziaływania [1–3]. Z punktu widzenia mechaniki górotworu eksploatacja górnica prowadzi do zmiany pierwotnego stanu naprężeń i odkształceń górotworu [4–5]. Jedną z najbardziej typowych struktur takich zmian jest ciągła deformacja powierzchni terenu, która przyjmuje postać osiadania gruntu. Ma ona istotny wpływ na degradację otaczającego terenu i infrastruktury. Na przestrzeni ostatniego stulecia opracowano wiele metod i teorii przewidywania górniczych deformacji powierzchni podczas eksploatacji złoża [6–10]. Wspomniane metody obejmują głównie określanie stanu deformacji po zakończeniu eksploatacji i upływie dość długiego czasu potrzebnego do zaniku procesu obniżenia.

Proces deformacji powierzchni terenu w trakcie prowadzenia eksploatacji podziemnej oraz bezpośrednio po jej zakończeniu jest cechą charakterystyczną obszarów górniczych. W czasie prowadzenia podziemnej eksploatacji powierzchnia terenu ulega obniżeniu, co powoduje powstanie trwałych zmian w górotworze poprzez przemieszczanie się skał i gruntów oraz przepływ wód podziemnych w kierunku czynnych wyrobisk. Proces ten przyczynia się do powstawania znacznych obniżień terenu. Ze względu na płytkie zaleganie pokładów węgla, eksploatacja górnica na powierzchni wywołuje stosunkowo duże deformacje terenu.

W Stanach Zjednoczonych płytkie wydobywanie na głębokości ok. 300–400 m poniżej poziomu gruntu w wielu miejscach doprowadziło do zmiany funkcji użytkowania gruntów [11]. Liczne dawne pastwiska zamieniły się w tereny zalewowe w wyniku powstania dużych regionalnych basenów osiadających i ich późniejszego zalania.

W Europie, ze względu na lokalizację górnictwa na terenach silnie zurbanizowanych, problem ten związany jest głównie z występowaniem szkód górniczych w obiektach budowlanych.

Contrary to the common belief, the problem of orogen and terrain surface deformation does not end with the termination of exploitation [14]. In the early 20th Century, the method of exploitation of deposits changed (in particular in multi-deposit exploitation). The mining moved to greater depths (even below 1000 m), which over the years resulted in hundreds of old excavations within the orogen, i.e. post-exploitation spaces filled with rock material originating from triggered (controlled) falls, of which the concentration may be found long after the termination of mining operations.

A sinkhole is a non-continuous surface deformation (surface type), characterised by the subsidence caused by a subsurface loss of rock material and fall of ceiling and the resulting empty space in the mine drift. It is not easy to determine the shape and depth of the entire sinkhole, because what is visible on the terrain surface is only part of it, often in the form of sinkhole crater. It is usually circular or oval in vertical protection and crater-shaped in cross-section (e.g. cone, truncated, elliptic-cone). At greater depth, the geometry of the sinkhole may change i.a. depending on the geological structure of the substrate in which it formed or the type of the empty space above which it developed. In addition to the sinkhole craters in the Upper Silesia and Lesser Poland Coal Basin, the following may be distinguished: bells, stacks, shafts, sinkhole trenches (characterised by unidirectional elongation) and irregular sinkholes [15].

Sinkholes are a type of geological hazard in Poland and it is most often caused by underground mineral exploitation. They cause damage to infrastructure, agricultural economy and forestry. They led to a significant degradation of the terrains, in which they occur and cause hazard to people and their property. Sinkholes are formed as a result of natural and anthropogenic factors. They may be formed suddenly and dramatically. The sinkhole surface may be from dozens of centimetres to several hectares and their depth may vary from few centimetres to dozens of metres [15].

Settlement measurements usually apply to short-term observations of a single wall panel or long-term observations of the entire coal basin. Short-term measurements are most often performed as part of ongoing monitoring of the impact of mining operations on surface infrastructure facilities and they usually end from 6 to 12 months after the termination of mining exploitation. The decision to discontinue the observation is based on different criteria, in particular based on many years of experience. For example, in Poland it is accepted that measurements are discontinued when the annual increment of settlements drops below 1.0 cm, while in Germany it ensures the coverage of the liability for damage, which may be claimed up to 3 years after the termination of mining operations. In China, this period expires if over six months the accumulated surface settling drops below 0.3 cm, which proves that the surface movement is stabilised [6]. The same principle is accepted in Ukraine. In Russia, the final series of measurements is conducted if the settling does not exceed 10 mm in 6 months.

The multiannual examination of the entire coal basin, covering as many as several dozens of mines, has been conducted as part of high precision observations and measurements for

Zwykle są to uszkodzenia budynków mieszkalnych, awarie sieci przesyłowych oraz uszkodzenia magistral transportowych (drogi, tory kolejowe) [12–13].

Wbrew powszechnemu przekonaniu problem deformacji górotworu i powierzchni terenu nie kończy się wraz z zakończeniem eksploatacji [14]. Na początku XX w. nastąpiły zmiany w sposobie prowadzenia eksploatacji złóż (szczególnie dotyczy to eksploatacji wielopokładowej). Wydobywanie przeniosło się na większe głębokości (nawet ponad 1000 m), co na przestrzeni lat doprowadziło do powstania w górotworze kilkuset zrobów, czyli przestrzeni poeksploatacyjnych częściowo wypełnionych materiałem skalnym pochodzącym z wywołanego (kontrolowanego) zawалу, których zagęszczenie można zaobserwować długo po zakończeniu wydobywania.

Zapadlisko (ang. *sinkhole*) jest to deformacja nieciągła terenu (typu powierzchniowego), charakteryzująca się obniżeniem wywołanym podpowierzchniowym ubytkiem materiału skalnego i zawaleniem stropu oraz powstałej w ten sposób pustki w korytarzu wydobywczym. Nie jest łatwo określić kształt i głębokość całego zapadliska, ponieważ to co jest widoczne na powierzchni terenu, stanowi jedynie fragment, przyjmujący często formę leja zapadliskowego. W rzucie poziomym ma on zazwyczaj kształt okrągły lub owalny, w przekroju poprzecznym ma najczęściej kształt leja (np. stożkowego, ściętego, eliptyczno-stożkowego). Głębiej geometria zapadliska może się zmieniać m.in. w zależności od budowy geologicznej podłoża, w jakim się utworzyło, lub typu pustki, nad którą się rozwinęło. Oprócz lejów zapadliskowych na terenie Górnośląskiego i Małopolskiego Zagłębia Węglowego można wyróżnić: dzwony, kominy, szyby, rowy zapadliskowe (charakteryzujące się wydłużeniem w jednym kierunku) oraz zapadliska nieforemne [15].

Zapadliska są jednym z rodzajów zagrożeń geologicznych na terenie Polski i najczęściej wywołane są podziemną eksploatacją kopalin. Powodują szkody w infrastrukturze oraz gospodarce rolnej i leśnej. Przyczyniają się do znacznej degradacji terenów, na których występują oraz stwarzają zagrożenie dla ludzi i ich dobytku. Zapadliska powstają w wyniku działania czynników naturalnych lub antropogenicznych. Mogą powstawać nagle i mieć dramatyczny przebieg. Powierzchnia zapadlisk może wynosić od kilkudziesięciu centymetrów do kilkudziesięciu hektarów, a głębokość może się wahać od kilku centymetrów do kilkudziesięciu metrów [15].

Pomiary osiadań dotyczą zazwyczaj krótkotrwałych obserwacji jednego panelu ścianowego lub zespołu paneli lub obserwacji długoterminowych całego zagłębia węglowego. Pomiary krótkoterminowe realizowane są najczęściej w ramach bieżącego monitoringu oddziaływania działalności górniczej na obiekty infrastruktury powierzchniowej i kończą się zazwyczaj po upływie 6 miesięcy do roku po zakończeniu eksploatacji górniczej. Decyzja o zakończeniu obserwacji opiera się na różnych kryteriach, szczególnie w oparciu o wieloletnie doświadczenie. Przykładowo w Polsce przyjęto, że zaniechanie pomiarów ustaje, gdy roczny przyrost osiadań będzie mniejszy niż 1,0 cm, w Niemczech jest to zapewnienie pokrycia odpowiedzialności za szkody, które można zgłosić do 3 lat po zakończeniu działalności wydobywczej. W Chinach okres ten kończy się, jeśli w ciągu sześciu miesięcy zsumowane osiadanie powierzchni będzie mniejsze niż 0,3 cm, co

more than a hundred years, recently with a two-year frequency (e.g. the Ruhr Valley). The determination of the permissible value of sinkholes and the impact discontinuation moment is fundamental for the assessment of significant changes in the environment and mining and geological regulations, which state that after the termination of exploitation, the owner is responsible for restoring the terrain status to as close to original as possible, enabling its further use. In case of the subsequent mine closures [16], it is essential to consider the restoration and rehabilitation of land and their costs [17]. Depending on the degree of degradation, such land may be granted a new purpose and useful function, e.g. recreational, agricultural, residential or commercial. Such activities may benefit local communities by bringing in new investments, jobs, inhabitants, funds for commune/town budgets or increase popularity among tourists. The fulfilment of the above objectives requires knowledge of the impact of mining operations on the terrain surface and achieving the pre-exploitation status.

The Polish power industry is still largely based on fossil fuels, including in particular coal and lignite. As indicated by Ember (an independent global team of power industry advisors), in the first half of year 2024, RES generated 21.75 TWh of power, while the Polish fossil fuel-based power plants produced 53.44 TWh. Based on the Ember report, in the period of January–June 2024, the share of solar power generation in Poland increased by 37% compared to the previous year. Only in May, wind and solar power plants accounted for one third of the power generated in Poland, while share of coal dropped to the historical low of 57% [18].

As the result of that process, i.e. the acquisition of green power, mines are closed (in particular in Upper Silesia), which results in new areas that require restoration activities. The restoration of former mining areas is very difficult, because there is no universal restoration planning method. In the course of mining operations, many forms of environmental degradations were noted.

świadczy o ustabilizowanym ruchu powierzchni [6]. To samo określenie przyjęto dla pomiarów na Ukrainie. W Rosji ostatnią serię pomiarów przeprowadza się, jeśli osiadanie nie przekracza 10 mm w ciągu 6 miesięcy.

Wieloletnie badania całego zagłębia węglowego, obejmujące nawet kilkadziesiąt kopalń, prowadzone są w formie precyzyjnych obserwacji i pomiarów od ponad stu lat, w ostatnim okresie z dwuletnią częstotliwością (np. Zagłębie Ruhry). Ustalenie wartości dopuszczalnej zapadlisk oraz momentu ustania oddziaływania ma podstawowe znaczenie dla oceny istotnych zmian w środowisku oraz przepisów prawa górnictwa i geologicznego, które stanowi, że po zakończeniu eksploatacji właściciel jest obowiązany przywrócić stan terenu do stanu możliwie najbardziej zbliżonego do pierwotnego, umożliwiającego jego dalsze użytkowanie. W przypadku kolejnych zamknięć kopalń [16] ważna jest kwestia rekultywacji i rewitalizacji gruntów oraz jej kosztów [17]. W zależności od stopnia degradacji możliwe jest nadanie temu gruntowi nowego przeznaczenia i funkcji użytkowej, np. rekreacyjnej, rolniczej, mieszkalnej, handlowej. Takie działanie może wiązać się z korzyściami dla społeczności lokalnych poprzez pozyskanie nowych inwestycji, miejsc pracy, osiedlanie się nowych mieszkańców, napływ środków do budżetów gmin/miast czy też zwiększenie popularności miejsca wśród turystów. Aby osiągnąć powyższe cele potrzebna jest wiedza o skutkach działalności górniczej na powierzchnię terenu i osiągnięcie stanu z przed jego eksploatacji.

Polska energetyka w dalszym ciągu oparta jest w dużej mierze na paliwach kopalnych, w tym głównie na węglu kamiennym i brunatnym. Jak wskazuje Ember (niezależny globalny zespół doradców ds. energetyki), w I półroczu 2024 r. z OZE pochodziło 21,75 TWh energii, podczas gdy polskie elektrownie na paliwa kopalne wyprodukowały 53,44 TWh prądu. Z raportu Ember wynika, że w okresie styczeń–czerwiec 2024 udział produkcji energii ze słońca w Polsce wzrósł o 37 proc. w porównaniu do roku poprzedniego. Tylko w maju farmy wiatrowe i słoneczne odpowiadały łącznie za jedną trzecią energii wyprodukowanej w Polsce, a udział węgla osiągnął najniższy poziom w historii i wyniósł 57 procent [18].

W wyniku tego procesu, tj. pozyskania zielonej energii, zostają zamykane kopalnie (zwłaszcza na Górnym Śląsku) i powstają kolejne obszary wymagające działań rekultywacyjnych. Rekultywacja terenów pogórnich jest zadaniem bardzo trudnym, gdyż nie ma uniwersalnej metody planowania rewitalizacji. W trakcie działalności górniczej zaobserwowano wiele form degradacji środowiska.

Exploitation of coal mines in the region of Trzebinia

The region of present day Trzebinia, geologically a component of the seabed, includes limestones and dolomites, including ore-bearing dolomites (with zinc, lead and small amounts of cadmium and silver). In addition, many locations feature porphyry tuffs, i.e. volcanic dusts, renowned for centuries as a useful construction material, as well as marlstones and limestones, which

Eksploracja kopalń węgla kamiennego w otoczeniu Trzebini

Na terenie dzisiejszej Trzebini, będącej geologicznie składową dna morskiego, występują wapienie i dolomity, a pośród nich dolomity kruszczone (zawierające cynk, ołów oraz niewielkie ilości kadmu i srebra). W wielu miejscach napotkać można także tufy porfirowe, nazwane tak pyły wulkaniczne, cieszące się przez wieki opinią jako użyteczny materiał budowlany oraz margle i wapienie,

are used in the limestone and cement industry. Historically, the region of Trzebinia is relatively poor in good soils. For that reason, it is not interesting to farmers and lacks farms, as opposite to the established mines and quarries. Lead, calamine and silver mining, first strip mining and then mining shafts, is dated back to the Middle Ages. In the second half of the 19th Century, Siersza became the second coal mining centre in Lesser Poland after Jaworzno, i.e. due to the installation of the steam-powered mining machine. In the mining period of the 19th and 20th Century, Trzebinia was known as a mining centre under the collective name of "SIERSZA". Its mining operations lasted for more than 135 years and ended in 1999.

In the context of mining, the geological structure of the region of Trzebinia includes Quarternary and Carbon formations that are primarily connected with the Pleistocene fluvioglacial accumulation and secondarily with contemporary activity of surface waters (Holocene deposits). Structured as clays, often with an admixture of sands with the thickness of up to several metres, which enables the strip exploitation of sands in the region of Siersza, operated on the Siersza-Misiury deposit (the deposit is the eastmost fragment of the wide sand deposit of Small Błędów Desert). In tectonic terms, the mining area is complex, because it is traversed by a dense network of faults with general directions approximate to latitudinal (S) or to the north-east direction and approximate to longitudinal or to the north-west or south-east direction, of which the geological range also includes overburden formations [19].

Mining area of Siersza

In the mining area, deposits no. 206 (formerly marked as 118), 207, 208, 209, 210, 214, as well as 301 and 303 were exploited, with the thickness varying from 3.0 m to approx. 11.0 m, in the depth zone from 25 to 330 m below ground level (BGL). In the 1990s (final years of operations), the "Siersza" mining area was 40,305,450 m². That area covered the decagon with the axes of 13.5 and 4 kilometres. The boundaries of that area extended from the Misiury settlement to the north-west and to Dulowa and Karniowice in the south-east, which covered approx. 40% of the entire surface of the commune of Trzebinia. The total length of the pits in "Siersza" was (as per 01.01.1997) almost 161 kilometres. The coal mine operations focused not only on coal mining, but also coal enrichment in the Coal Enrichment Plant and Pulverised Coal Enrichment Plant. The mine did not present a methane hazard, nonetheless the very high tendency of coal towards self-ignition was causing danger. The coal was considered as rather low heat, with the sulphur content of 2 to 5% and ash content of 4 to 40%. In 1998, the recoverable resources of the mine were 328,202,000 tonnes, including 269,878,000 tonnes in industrial resources.

The coal mine of Siersza was put into liquidation effective 01.11.1999, which lasted until 2001. All shafts were backfilled and water drainage from the mine was terminated. This initiated

które mają zastosowanie w przemyśle wapienniczym lub cementowym. Historycznie okolica Trzebini jest dość uboga w dobre gleby. Z tego powodu nie cieszy się zainteresowaniem rolników i dlatego brak jest w tej okolicy gospodarstw rolnych – w przeciwieństwie do powstałych kopalń i kamieniołomów. Od średniowiecza datuje się wydobycie ołowiu, galmanu i srebra, na początku w postaci odkrywek, a następnie szybów górniczych. W drugiej połowie XIX wieku Siersza stała się drugim po Jaworznie ośrodkiem górnictwa węglowego w Małopolsce, m.in. dzięki zainstalowaniu parowej maszyny fedrunkowej. W okresie wydobycia w XIX i XX wieku Trzebinia znana była jako ośrodek górniczy pod wspólną nazwą „SIERSZA”, której działalność górnicza trwała ponad 135 lat i została zakończona w 1999 roku.

W kontekście górnictwa w budowie geologicznej okolic Trzebini występują utwory czwartorzędu i karbonu, które są związane głównie z akumulacją wodnolodowcową plejstocenu oraz podrzedne ze współczesną działalnością wód powierzchniowych (osady holocenu). Wykształcone są jako gliny często z domieszką piasków, których miąższość sięga kilkunastu metrów, co umożliwia odkrywkową eksploatację piasków w rejonie Sierszy, prowadzoną na złożu Siersza-Misiury (złoża jest wysuniętym na wschód fragmentem rozległego złoża piasków Małej Pustyni Błędowskiej). Pod względem tektonicznym obszar górniczy należy do skomplikowanych, ponieważ przebiega tu gęsta sieć uskóków o generalnych kierunkach zbliżonych do południkowych (S) lub do kierunku północno-wschodniego oraz zbliżonych do równoleżnikowych lub do kierunku północno-zachodniego lub południowo-wschodniego, które swoim zasięgiem obejmują także w sensie geologicznym utwory nadkładu [19].

Obszar górniczy w Sierszy

Na obszarze górniczym kopalni eksploatowano pokłady 206 (poprzednio oznaczany jako 118), 207, 208, 209, 210, 214, a także 301 i 303 o miąższościach wahających się w granicach od 3,0 m do około 11,0 m, w strefie głębokości od 25 do 330 m pod poziomem terenu (p.p.t.). W latach 90. XX wieku (ostatnie lata działalności) obszar górniczy „Sierszy” wynosił 40 305 450 m². Teren ten obejmował dziesięciobok o osiach o długości 13,5 oraz 4 kilometrów. Granice tego obszaru sięgały na północnym zachodzie do osiedla Misiury, a na południowym wschodzie do Dulowej i Karniowic, co stanowiło blisko 40% powierzchni całej gminy Trzebinia. Całkowita długość wyrobisk w „Sierszy” wynosiła (według stanu na 1.01.1997 r.) prawie 161 kilometrów. Działalność KWK skupiała się nie tylko na wydobyciu węgla, ale też na jego wzbogacaniu w Zakładzie Wzbogacania Węgla oraz w Zakładzie Wzbogacania Miału. Kopalnia nie wykazywała zagrożenia metanowego, niemniej niebezpieczeństwo stwarzała bardzo duża skłonność węgla do samozapalania. Węgiel oceniano na raczej niskokaloryczny, o zawartości siarki od 2 do 5% oraz popiołu od 4 do 40%. W roku 1998 zasoby bilansowe kopalni wynosiły 328 202 tys. ton, z czego 269 878 tys. ton tworzyły zasoby przemysłowe.

KWK Siersza postawiono w stan likwidacji z dniem 1.11.1999 r. Likwidacja trwała do roku 2001. Zasypano również wszystkie szyby oraz zakończono odwadnianie kopalni. Skutkowało to

the self-flooding of mining pits to the underground waters stabilisation level.

rozpoczęciem samozatopienia wyrobisk górniczych do poziomu ustabilizowania się zwierciadła wód podziemnych.

Why are sinkholes formed in Trzebinia?

Damage to development and environmental changes in Trzebinia (loss of water in wells, dusting of mining waste heaps, degraded landscape, abandoned and unprotected minor shafts and road cracking) would occur as early as in the 19th Century. Every year, these phenomena only intensified. The most onerous phenomena include changes in waterways, subsidence troughs, secondary faults, craters and sinkholes. These phenomena occur, because the rocks forming the ceilings of former pits that do not have plastic properties (like sandstone) fill the empty spaces underneath. More plastic rocks (like slate) bend and crack. The underneath sands and other loose formations settle and move laterally, which causes the loss of surface stability.

The terrains above the former pits of the “Siersza” coal mine are located in the subsidence trough zone and the settlement depends on the density of the exploited deposits and the empty drift decommissioning method. The settling is particularly visible in non-developed areas, where the deposits were exploited by caving (the coal deposit was recovered and the remaining empty space was not backfilled and the ceiling fell). In such areas, the terrain subsidence reached up to 14 metres. In urbanised areas, where flooring was used, the subsidence reached up to 2 metres.

Figure 1 shows the section of deformations of the cone crater formed in shallow mining exploitation areas [20].

Dlaczego w Trzebini powstają zapadliska?

Szkody w zabudowie i zmiany środowiska w Trzebini (zanik wody w studniach, pylenie hałd odpadów górniczych, zdegradowany krajobraz, porzucone i niezabezpieczone małe szyby, pękanie dróg) występowały już w XIX wieku. Z każdym rokiem zjawiska te tylko się nasilały. Do najbardziej uciążliwych można zaliczyć: zmiany cieków wodnych, niecki osiadania, wtórne uskoki, leje i zapadliska. Skutkiem tych zjawisk jest to, że skały tworzące stropy dawnych wyrobisk, nie posiadają właściwości plastycznych (takie jak piaskowiec) kruszą się i wypełniają znajdującą się pod nimi wolną przestrzeń. Skały bardziej podatne (takie jak łupek) uginają się i pękają. Znajdujące się nad nimi piaski i inne luźne utwory osiadają i przemieszczają się bocznie, a to powoduje utratę stabilności powierzchni.

Tereny znajdujące się nad dawnymi wyrobiskami KWK „Siersza” leżą w strefie niecki osiadania, wielkość tego osiadania zależy od gęstości eksploatowanych pokładów i sposobu likwidacji pustych korytarzy. Szczególnie widoczne osiadanie występuje w miejscach niezabudowanych, gdzie pokłady eksploatowano na zawał (pokład węgla wybrano, przestrzeń po nim nie została wypełniona i nastąpił zawał stropu), w tych miejscach teren lokalnie obniżył się nawet o 14 metrów. Na obszarach zurbanizowanych, gdzie zastosowano podsadzkę, obniżenie wyniosło maksymalnie do 2 metrów.

Na rycinie 1 przedstawiono przekrój deformacji leja stożkowego, powstałego w obszarach płytkiej eksploatacji górniczej [20].

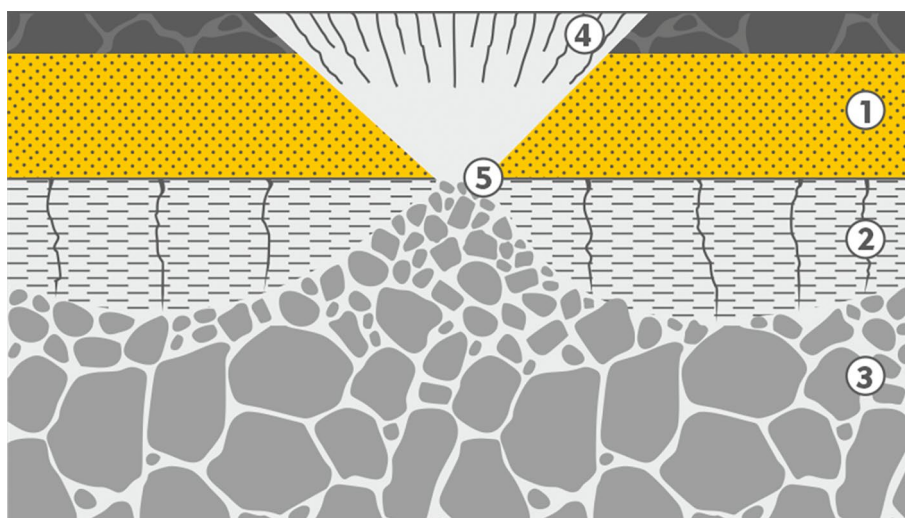


Figure 1. The section of deformations of the cone crater formed in shallow mining exploitation areas: 1 – overburden (the thin layer of grey sandy soil, medium and thick grain sand, sand with scarce small boulders of quartz reaches the depth of 5–20 m); 2 – hard rocks (sandstone and clay slate with coal deposits), 3 – collapsed space of the exploitation pit; 4 – sinkhole; 5 – opening in hard rocks (the so-called window)

Rycina 1. Przekrój deformacji leja stożkowego, powstałego w obszarach płytkiej eksploatacji górniczej: 1 – nadkład (do głębokości około 5–20 m sięga cienka warstwa gleby szarej piaszczystej, piasku średnio- i gruboziarnistego z nielicznymi drobnymi otoczkami kwarcu); 2 – skały zwięzłe (piaskowiec i łupki ilaste z pokładami węgla); 3 – zawałisko wyrobiska wybierkowego; 4 – zapadlisko; 5 – otwór w skałach zwięzłych (tzw. okno)

Source: Central Mining Institute in Katowice.

Źródło: Główny Instytut Górnictwa w Katowicach.

In developed areas, the impact of shallow mining exploitation (i.e. the oldest 19th Century mines) is much more severe, because the greatest soil dislocation occurs directly above the exploited deposit. The deeper the road, the greater the certainty that the rocks above the collapsed pit will automatically move to support the ceiling.

The development and other structures on the ground surface are relatively resistant to compression, however soil extension causes damage to walls and roads. In turn, in zones without major lateral stresses (compression and tension), there is a sink-hole hazard caused by undercut. From the beginning of operations, the mines in the region failed to overcome the water inflow and had to drain the pits. The „Siersza” coal mine would pump water at up to 37 m³/min. During its operations, it caused the formation of the depression crater and drying of several waterways (the water was also drawn by the mining plants of „Trzebieńka” and the sand mine of „Szczakowa”). For several years, the terrains would be drained on a regular basis, however since the closure of the „Siersza” coal mine is systematically returning to the initial level. The impact of the activity of underground waters flowing into abandoned pits is the drainage of the orogen (even away from the exploitation point) and scouring craters (most often connected with pits at small depths, into which sands from the surface are directed by gravity). The greatest area of occurrence of such craters is located to the north of the Gaj settlement and the Energetyków settlement (between the Kozi Bród river above the shaft top of the „Siersza” coal mine) on the area of approx. 50 ha. The diameter of the largest craters is up to 15 m and the depth of the deepest crater is 8–10 m. By 1999 (mine decommissioning), there were 32 craters, however more have been formed since then [19]. After the discontinuation of exploitation of the Siersza mine, the legal successor of the closed company was Spółka Restrukturyzacji Kopalń (SRK), which is responsible i.a. for the monitoring of mine flooding and the effects of its decommissioning. The County Office of Trzebieńka is in regular contact with SRK and every report of soil collapse is forwarded to that company.

Where is the sinkole hazard in Siersza?

The hazard exists in areas, where coal exploitation was conducted in the depth zone of 0–100 m below ground level. Such exploitation was conducted in deposits no.: 206/118, 207, 208, 209, 210, 214 (Łaziska layers) and 301 (Orzesze layers), mainly in the central part of the mining areas, in the NW-SE extension strip and in the SE corner of that area. In the central part of the mining area, numerous non-continuous surface deformations were formed as sinkholes and craters, connected with shallow coal exploitation and caused by old excavations [20].

Na terenach zabudowanych znacznie poważniejsze są skutki płytkiej eksploatacji górniczej (czyli najstarszych, XIX-wiecznych kopalń), ponieważ największe przemieszczanie gruntu występuje tuż nad wyeksploatowanym pokładem. Im głębszy chodnik, tym większa pewność, że nad zawalonym wyrobiskiem skały nadległe ustawią się w taki sposób, że nastąpi samoistne podparcie stropu.

Zabudowania i inne konstrukcje na powierzchni ziemi są dość odporne na ściskanie, natomiast uszkodzenia murów i dróg powoduje głównie rozciąganie gruntu. Z kolei w strefie, gdzie nie ma dużych naprężeń bocznych (ściskania i rozciągania), istnieje zagrożenie zapadliskami wywołanymi podtopieniem. Kopalnie w tym rejonie od samego początku działalności nie mogły się uporać z dopływami wód i musiały drenować wyrobiska. KWK „Siersza” pompowała nawet do 37 m³/min wody. W czasie jej działalności powodowało to powstanie leja depresji i osuszenie niektórych cieków wodnych (wodę odciągały też zakłady górnicze „Trzebieńka” i kopalnia piasku „Szczakowa”). Przez kilkadziesiąt lat tereny były regularnie osuszane, jednak po zamknięciu KWK „Siersza” poziom wód systematycznie wraca do początkowego poziomu. Skutkiem działalności wód podziemnych, napływających do opuszczonych wyrobisk, jest drenaż górotworu (nawet w miejscach odległych od punktu eksploatacji) oraz leje sufozyjne (towarzyszą najczęściej płytko położonym wyrobiskom, do których mechanicznie kierowane są piaski z powierzchni). Największy obszar występowania takich lejów znajduje się w niewielkiej odległości na północ od osiedla Gaj i osiedla Energetyków (pomiędzy rzeką Kozi Bród na nadszybiem KWK „Siersza”), na obszarze ok. 50 ha. Średnica największych lei dochodzi do 15 m, najgłębsze mają po 8–10 m. Do 1999 r. (likwidacja kopalni) było ich tutaj 32, jednak od tego czasu powstają kolejne [19]. Po zakończeniu eksploatacji kopalni Siersza, prawnym następcą zamkniętego przedsiębiorstwa stała się Spółka Restrukturyzacji Kopalń (SRK), która jest zobowiązana m.in. do prowadzenia monitoringu zatapiania kopalni i skutków jej likwidacji. Urząd Gminy Trzebieńka jest w stałym kontakcie z SRK i każdy sygnał o zapadnięciu się ziemi jest kierowany do tej spółki.

Gdzie występuje zagrożenie zapadliskowe w Sierszy?

Zagrożenie istnieje na terenach, w podłożu których prowadzono eksploatację węgla w strefie głębokościowej 0–100 m poniżej poziomu terenu. Taką eksploatację prowadzono w pokładach: 206/118, 207, 208, 209, 210, 214 (warstwy łaziskie), a także 301 (warstwy orzeskie), głównie w części centralnej obszaru górniczego, w pasie o rozciągłości NW-SE oraz w SE narożniku tego obszaru. W części centralnej obszaru górniczego już w przeszłości powstawały liczne deformacje nieciągłe powierzchni w formie zapadlisk i lejów, związane z płytką eksploatacją węgla i wywołane reaktywacją starych płytkich zrobów [20].

Works determining terrain surface deformations based on the European Ground Motion Service (EGMS)

To the order of the Ministry of Climate and Environment of 16.02.2023, the National Geological Institute – National Research Institute undertook works (see Figure 1) to investigate the problem of the sinkholes appearing in Trzebinia.

Prace określające deformacje powierzchni terenu na podstawie European Ground Motion Service (EGMS)

Nazlecenie Ministerstwa Klimatu i Środowiska z dnia 16.02.2023r. Państwowy Instytut Geologiczny – Państwowy Instytut Badawczy, podjął się wykonania prac (zob. ryc. 1), mających na celu rozpoznanie problemu pojawiających się zapadlisk w Trzebinia.

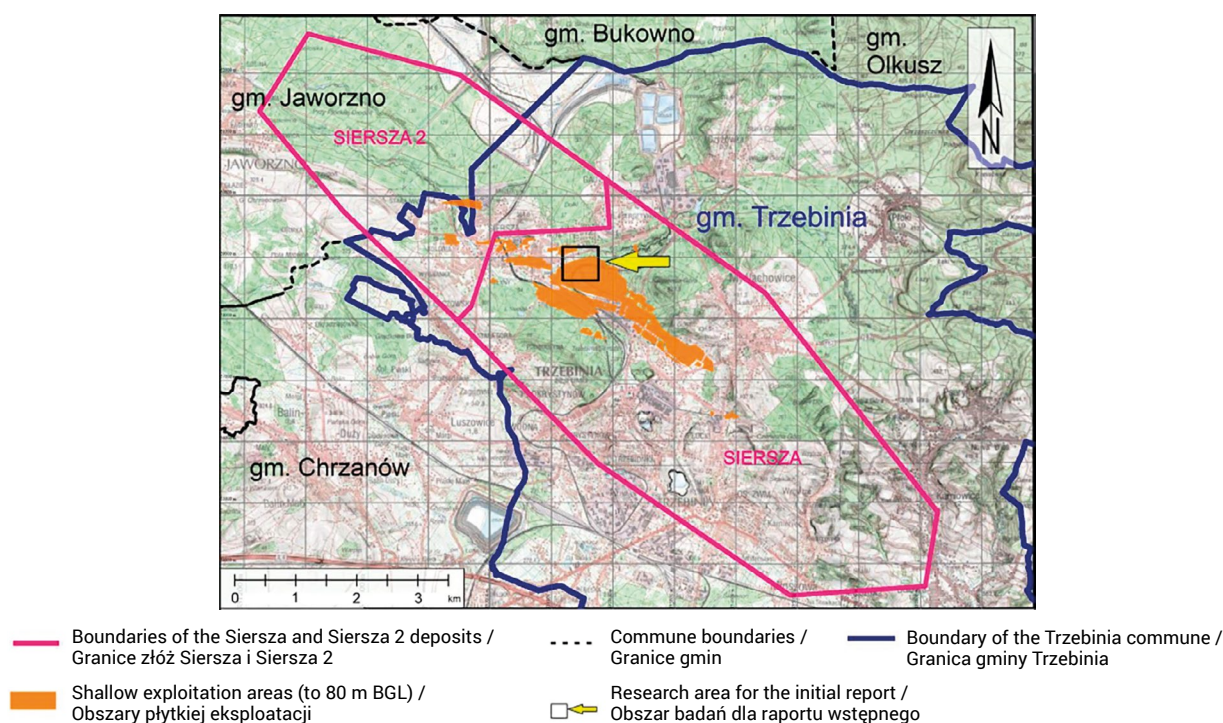


Figure 2. Planned works area covering the area subject to the impact of the “Siersza” and “Siersza 2” coal mines, data on the number of sinkholes as of 23/02/2023

Rycina 2. Przekrój deformacji leja stożkowego, powstałego w obszarach płytkiej eksploatacji górniczej: 1 – nadkład (do głębokości około 5–20 m sięga cienka warstwa gleby szarej piaszczystej, piasku średnio- i gruboziarnistego z nielicznymi drobnymi otoczkami kwarcu); 2 – skały zwięzłe (piaskowce i łupki ilaste z pokładami węgla); 3 – zawalisko wyrobiska wybierkowego; 4 – zapadlisko; 5 – otwór w skałach zwięzłych (tzw. okno)

Source / Źródło: GUGiK.

Based on data from satellite radar interferometry, a report on satellite methods was prepared. The terrain surface motion system belongs to the Copernicus program products group, consisting in the monitoring of land surfaces and implemented by the European Environment Agency (EEA). The EGMS provides consistent, regular, normalised and harmonised information on natural and anthropogenic terrain surface motions in Europe. The data obtained does not include administrative national borders and it is provided to millimetre accuracy. The motions are determined based on analyses of temporal series of Sentinel-1 satellite radar data using radar interferometry methods [21].

Unfortunately, a major limitation of this method is the inability to plan the location of the measurement points referred to as stable diffusers. Their location depends on the properties of structures in the terrain. The results of processing strictly depend on the coherence of images. By consequence, any abrupt

Na podstawie danych z satelitarnej interferometrii radarowej opracowano raport w zakresie metod satelitarnych. System o ruchach powierzchni terenu należy do grupy wyrobów programu Copernicus, polegającym na monitorowaniu powierzchni lądów, a jego implementację zlecono Europejskiej Agencji Środowiska (EEA). EGMS zapewnia spójne, regularne, znormalizowane i zharmonizowane informacje obejmujące naturalne i antropogeniczne ruchy powierzchni terenu w Europie. Otrzymane dane nie obejmują granic administracyjnych państw i są przekazywane z milimetrową dokładnością. Przemieszczenia są wyznaczone na podstawie analiz szeregów czasowych satelitarnych danych radarowych Sentinel-1 z wykorzystaniem metod interferometrii radarowej [21].

Niestety jednym z dużych ograniczeń tej metody pomiarowej jest brak możliwości zaplanowania rozlokowania punktów pomiarowych nazywanych stabilnymi rozpraszaczami. Lokalizacja ich

changes in signal reflection characteristics within the analysed time series result in the loss of coherence and thus information on any motions. Changes in reflection characteristics may be caused by a series of factors, such as: vegetation growth, foliage changes, soil humidity changes, waste and snow cover melting. The environmental transformations causing the loss of coherence also include earthworks, construction and demolition services and formation of sinkholes. The best coherence, with the highest density of points, is characteristic of areas without vegetation, i.e. rock outcrops, pits and, in our case, urbanised and industrial areas, roads and railway routes [22].

The current EGMS data is from the period of 2015–2020. For the area of Trzebinia, it was sourced from the “Orto” level (horizontal and vertical motion components, bound with the reference geodetic model, Orto products are generated for the grid side of 100 m), illustrating deformations in horizontal and vertical direction in the grid of 100 m. Each of these pixels (stable diffuser points) has an assigned average motion rate in the required direction in mm/year and time series values of motion in millimetres between the inputs obtained.

In addition, “Calibrated” level data was obtained from the ascending and descending orbit. It presents deformations in the satellite imaging direction, so not converted into easily interpretable vertical and horizontal deformation vectors, but angled 29.1–46.0° to the vertical direction. Still, despite difficulties in the interpretation of these point values, they show higher density in specific study surface areas.

The detailed analysis of the obtained (calibrated) data presents motion values that are not characterised by interpretable changes and thus it was not considered further.

Vertical deformations for the period of 2015–2020 were shown in Figure 3, where the average rate (mm/year) recorded in PS points was presented on a colour scale. Green is for stable points, blue for raising, yellow and red for settling. The research area includes the “Siersza” deposit shown in black and the cemetery region marked with a red frame. The central part presents the terrain showing the characteristic terrain raising at the rate of 5–25 mm/year. The cemetery is located within the area, the map of that region is shown in Figure 4.

The research area presented below shows very little motions in the vertical direction for the designated raising area (see Figure 3)

zależy od właściwości obiektów znajdujących się w terenie. Wyniki przetwarzania ściśle zależą od koherencji, czyli spójności obrazów. W konsekwencji wszelkie gwałtowne modyfikacje w charakterystyce odbicia sygnału w obrębie analizowanej serii czasowej powodują utratę koherencji, a tym samym informacji o ewentualnych przemieszczeniach. Zmiany charakterystyki odbicia mogą być powodowane przez szereg czynników, takich jak: wzrost roślinności, zmiany ulistnienia, zmiany wilgotności gleby, opady i rozpuszczenie pokrywy śnieżnej. Do transformacji środowiskowych wywołujących utratę koherencji zaliczyć można również prace ziemne, usługi budowlane i rozbiórkowe oraz pojawianie się zapadlisk. Najlepszą koherencją, jednocześnie z największą gęstością punktów, charakteryzują się tereny pozbawione roślinności, tj. wychodnie skalne, odkrywki, a w naszych warunkach są to tereny zurbanizowane, przemysłowe oraz drogi i trasy kolejowe [22].

Aktualnie dane EGMS dotyczą lat 2015–2020. Dla obszaru Trzebini zostały pobrane z poziomu „Orto” (są to składowe ruchu poziome i pionowe, dowiązane do referencyjnego modelu geodezyjnego, produkty Orto są generowane dla siatki o boku 100 m), ilustrujące deformacje w kierunku poziomym oraz pionowym w siatce 100 metrów. Każdy z tych pikseli (punktów stabilnych rozpraszaczy) ma przypisaną wartość średniej prędkości ruchu w nakazanym kierunku w jednostce mm/rok oraz wartości szeregów czasowych przemieszczeń w milimetrach pomiędzy każdą pozyskaną informacją.

Ponadto uzyskano dane poziomu „Skalibrowany” orbity wstępującej i zstępującej. Przedstawiają one deformacje w kierunku obrazowania satelity, a więc nieprzeliczone na łatwe w interpretacji wektory deformacji pionowe i poziome, ale nachylone do kierunku pionowego o 29,1–46,0°. Jednak pomimo trudności w interpretacji wartości tych punktów, przedstawiają one większą gęstość w określonych rejonach powierzchni badawczej.

Dokładna analiza otrzymanych danych (skalibrowanych) przedstawia wartości przemieszczeń, które nie charakteryzują się zmianami mogącymi stanowić przedmiot interpretacji i dlatego nie wzięto ich pod uwagę w dalszych dywagacjach.

Deformacje w kierunku pionowym dla okresu 2015–2020 zostały opisane na rycinie 3, gdzie średnia prędkość (mm/rok) zaobserwowana na punktach PS została przedstawiona w skali barwnej. Kolor zielony przedstawia punkty stabilne, kolor niebieski podnoszenie, kolory żółte-czerwone osiadanie. Teren badawczy obejmuje złożę „Siersza” przedstawione kolorem czarnym oraz teren w okolicy cmentarza, który jest zaznaczony czerwoną ramką. W środkowej części przedstawiony jest teren wykazujący charakterystyczne podnoszenie terenu z prędkością 5–25 mm/rok. Cmentarz położony jest w granicy tego obszaru, mapę tego rejonu przedstawiono na rycinie 4.

Na przedstawionym poniżej obszarze badawczym zaobserwowano bardzo niewielkie przemieszczenia w kierunku poziomym dla wyznaczonego obszaru podnoszenia (zob. ryc. 3).

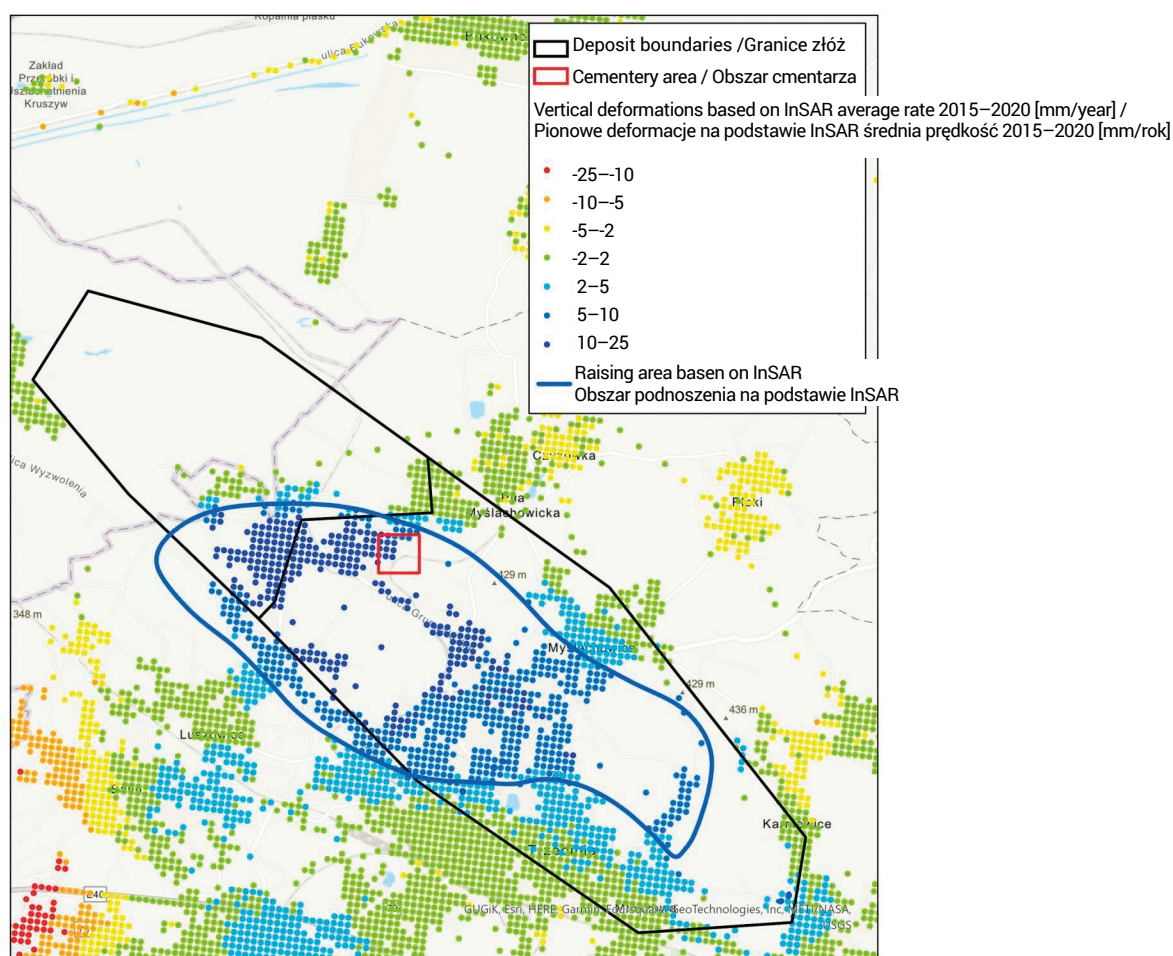


Figure 3. Average rate for stable diffuser points in the vertical direction in the "Trzebinia" research area, covering the "Siersza" deposit

Source: Initial PIG report on terrain deformation in Trzebinia.

Źródło: Raport wstępny PIIG o deformacji terenu w Trzebinii.

Westward motions remain within 10 mm/year, eastward motions within 5 mm/year. In the cemetery, the eastward motions in the cemetery determined by research was 0.8 to 4.1 mm per year (see Figure 4).

The horizontal motions subject to monitoring and analysis, constituting the component of the vertical motions vector, caused by terrain surface inclination changes at the border of the raising area, are described above. The reported information on continuous deformations (vertical and horizontal motions) in the cemetery include a part of the regional phenomenon of terrain raising connected with the elimination of the underground waters surface depression crater after the discontinuation of drainage of the underground pits of the "Siersza" coal mine. The terrain raising is caused by the expansion of the underground waters table in that area. The cemetery area is located near the raising terrain edge and thus it is subject to surface inclination changes, during which both vertical and horizontal motions occur.

Przemieszczenia w kierunku zachodnim zachowują stan w granicach 10 mm/rok, w kierunku wschodnim do 5 mm/rok. Na terenie cmentarza otrzymano po badaniach przemieszczenia w kierunku wschodnim od 0,8 do 4,1 mm na rok (zob. ryc. 4).

Poddane monitoringu i analizie przemieszczenia poziome, stanowiące składową wektora przemieszczeń pionowych spowodowaną zmianami nachylenia powierzchni terenu na granicy obszaru objętego podnoszeniem, opisano wyżej. Zawarte w raporcie informacje o deformacjach ciągłych (przemieszczenia pionowe i poziome) na terenie cmentarza zawierają część występującego regionalnie zjawiska podnoszenia terenu związanego z likwidacją leja depresji powierzchni wód podziemnych po zakończeniu odwadniania wyrobisk podziemnych KWK „Siersza”. Podnoszenie terenu jest skutkiem powiększenia się zwierciadła wód podziemnych na tym terenie. Obszar cmentarza znajduje się blisko krawędzi terenu podnoszenia i w związku z tym ulega zmianom nachylenia powierzchni, w trakcie których występują przemieszczenia zarówno w kierunku pionowym, jak i poziomym.

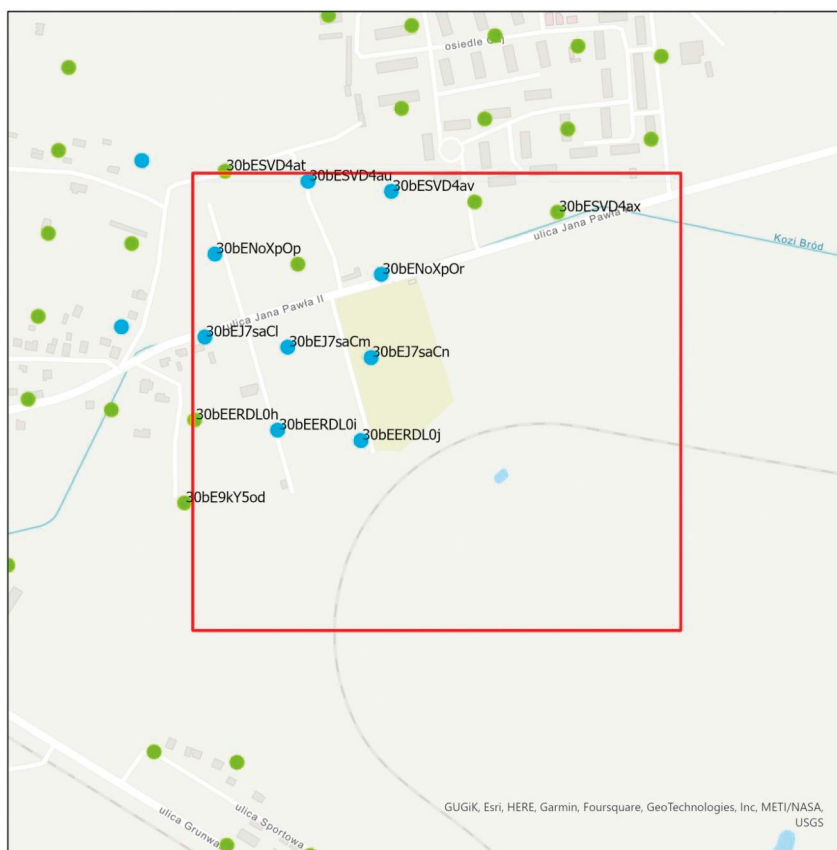


Figure 4. Cemetery area. Average rate for stable diffuser points in the horizontal direction

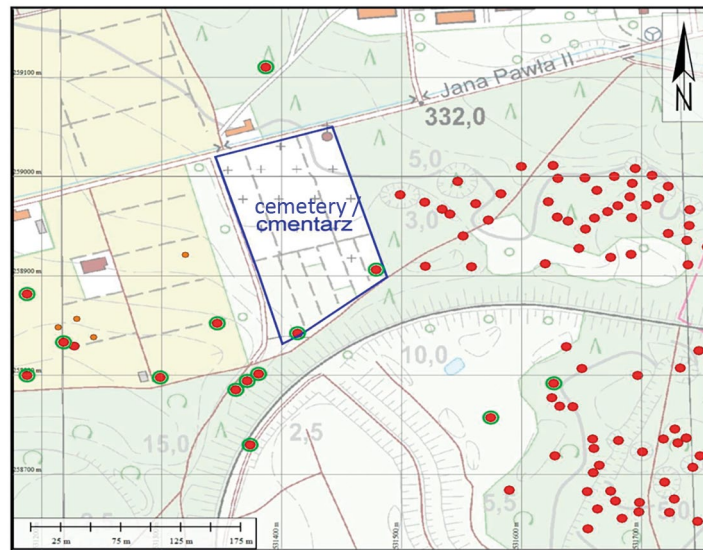
Rycina 4. Obszar cmentarza. Średnia prędkość punktów stabilnych rozpraszaczy w kierunku poziomym

Source: Initial PIG report on terrain deformation in Trzebinia.

Źródło: Raport wstępny PIG o deformacji terenu w Trzebinii.

As part of research covered by the report, i.e. the cemetery and the surrounding region, 91 sinkholes were identified as “certain” using remote methods and 4 sinkholes as “uncertain” (see Figure 5). All previously found sinkholes are located in the shallow exploitation area or on its edges. The greater part of sinkholes is located in the forest area to the east and south east of the cemetery. The sinkholes outside the forest area are also found in the south part of the cemetery and in the south part of allotment gardens (ROD). The shape of sinkholes in plan is usually nearly circular, while the average hole size is approx. 10 metres. The average sinkhole depth is approx. 2 m, however the greatest depths recorded in the numerical terrain model is more than 8 metres. The inventory of the above sinkholes supports the conjecture that their total number in the “Siersza” and “Siersza 2” deposits area may be up to several times greater than presented before.

W badaniach objętych raportem, tj. obszaru cmentarza i okolic, wyznaczono 91 zapadlisk, które przy pomocy metod zdalnych uznano za „pewne” oraz 4 zapadliska określone jako „niepewne” (zob. ryc. 5). Wszystkie poprzednio wyznaczone zapadliska położone są w obrębie obszaru płytkiej eksploatacji lub na jego obrzeżach. Większa część zapadlisk znajduje się w obszarze leśnym na wschód i południowy wschód od cmentarza. Zapadliska poza obszarem leśnym występują ponadto w południowej części cmentarza oraz południowej części ogródków działkowych (ROD). Kształt zapadlisk w planie jest zwykle zbliżony do okręgu, a średni wymiar otworu to ok. 10 metrów. Średnia głębokość zapadlisk to ok. 2 m, przy czym najgłębsze zarejestrowane na numerycznym modelu terenu (NMT) ma ponad 8 metrów. Zinwentaryzowanie powyższych zapadlisk pozwala przypuszczać, że ich całkowita liczba w obszarze złóż „Siersza” i „Siersza 2” może być nawet kilkukrotnie wyższa niż do tej pory przedstawiano.



Locations of sinkholes identified by PGI-PIB:/ Lokalizacje zapadlisk wyznaczonych przez PIG-PIB:

- Sinkholes identified based on heterochronous NMT and archived data / zapadliska stwierdzone na podstawie różnoczasowych NMT i danych archiwalnych
- Presumed sinkholes identified based on multi-temporal NMT / zapadliska przypuszczalne wytypowane na podstawie różnoczasowych NMT
- Locations of sinkholes from the report commissioned by SRK S.A. / lokalizacje zapadlisk z raportu wykonanego na zlecenie SRK S.A.

Figure 5. Location of sinkholes in the cemetery region of Trzebinia (Siersza) on the topographic base on the scale of 1:10,000
Rycina 5. Lokalizacja zapadlisk w okolicy cmentarza w Trzebinii (Sierszy) na podkładzie topograficznym w skali 1:10 000
Source / Źródło: GUGiK.

In the period of 12.10.2019–27.03.2022, a significant increase in sinkhole motion dynamics was recorded in the research area. In that period, four existing sinkholes were activated (widened and deepened) in the forest, to the east and south east of the cemetery (see Figure 6). Two of them are sinkholes that were already active in the period of 2014–2019. In the analysed period, 14 new sinkholes were formed, but the volumes of the collapsed soil in the largest sinkholes exceeded 300 m³ (see Figure 6). The total volume of the collapsed soil for all sinkholes activated in that period was 1543 m³. Admittedly, the sinkhole in the cemetery of 20.09.2022 was formed on the extension of the sinkholes located to the east of the necropolis, activated in the period of 12.10.2019–27.03.2022.

W okresie 12.10.2019–27.03.2022 odnotowano znaczący wzrost dynamiki ruchów zapadliskowych na badanym obszarze. W ciągu tego okresu doszło do uaktywnienia się (powiększenia i pogłębienia) czterech istniejących zapadlisk zlokalizowanych w lesie, na wschód i południowy wschód od cmentarza (zob. ryc. 6). Dwa z nich to zapadliska, które wykazywały aktywność już w latach 2014–2019. W analizowanym okresie powstało również 14 nowych zapadlisk, a objętości zapadniętego gruntu największych zapadlisk przekraczają 300 m³ (zob. ryc. 6). Całkowita kubatura gruntu, który uległ zapadnięciu dla wszystkich zapadlisk uaktywnionych w tym okresie, wynosi 1543 m³. Należy przyznać, iż zapadlisko na cmentarzu z dnia 20.09.2022 r. powstało na przedłużeniu zapadlisk zlokalizowanych na wschód od nekropolii, które uaktywniły się w okresie 12.10.2019–27.03.2022.

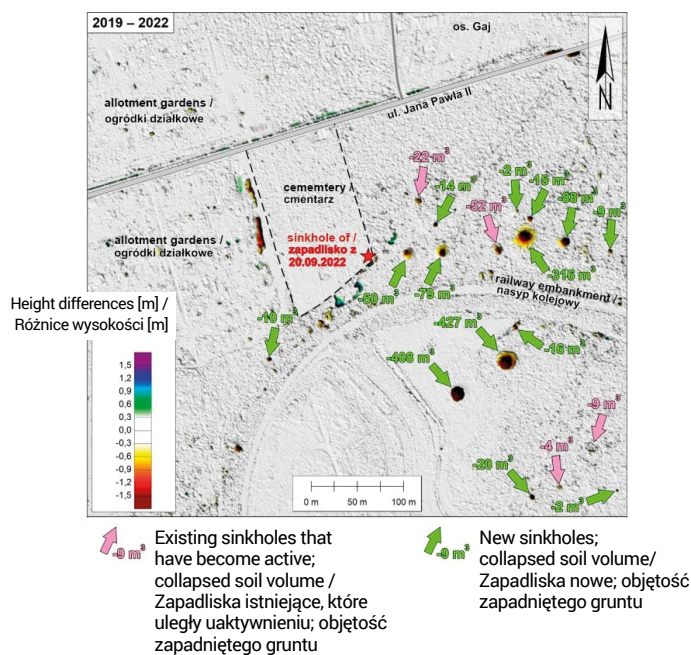


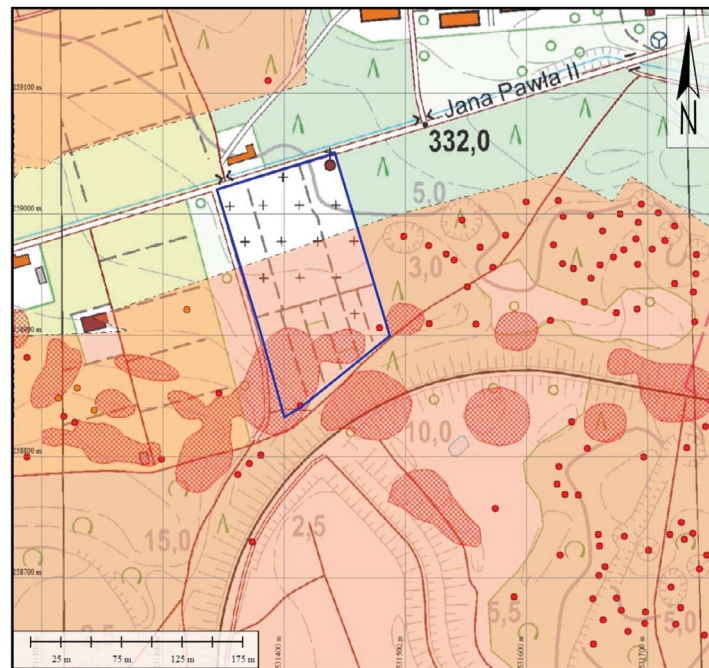
Figure 6. Differential numerical terrain model for the period of 2019–2022
Rycina 6. Różnicowy numeryczny model terenu dla okresu 2019–2022

Source: Initial PIG report on terrain deformation in Trzebinia.

Źródło: Raport wstępny PIG o deformacji terenu w Trzebini.

To conclude, upon completion of the research outlined at this stage, it may be ascertained that the scale of sinkholes in Trzebinia is much greater than suggested by previous studies and media reports (presentation of the SRK S.A. report, reference sinkhole locations shared at the GIG website, data from the official website of the town hall of Trzebinia and information from social media of the Siersza settlement). In the area of up to 0.32 km², covering the cemetery and its direct vicinity, more than 90 sinkholes were recorded and their development activity in the period of 2019–2022 was significantly higher than previously assumed. In that period, at least 12 new sinkholes were formed in the research area, not recorded and described previously. It means that only in that period, 26 new sinkholes were formed in that small area. The south part of the cemetery and allotment plots is located in areas, in which embankments were deposited in the past. A significant part of sinkholes in the cemetery region is a re-activation of old sinkholes, backfilled in the past. The inventory of old sinkholes may lead to an efficient forecast and location of this type of hazard in future. The south parts of the cemetery and allotment plots, as well as the railway embankment towards the “Siersza” power plant, may be considered as the most exposed to the formation of further sinkholes in the analysed area. The locations particularly exposed to the formation of sinkholes are marked in Figure 7. The research area there is also subject to continuous deformations. In the past, they were progressing subsidence troughs, at present minor uplift of some areas is recorded, probably in connection with the raising of the groundwater surface.

Podsumowując, po zrealizowaniu nakreślonych na obecnym etapie zakresie badań, możemy stwierdzić, że skala zapadlisk w Trzebini jest dużo większa, niż wynika to z dotychczasowych opracowań i doniesień medialnych (prezentacja raportu SRK S. A., poglądowe lokalizacje zapadlisk udostępniane na stronie GIG, dane ze oficjalnej strony internetowej UM Trzebinia oraz informacje z portali społecznościowych osiedla Siersza). Na obszarze nie większym jak 0,32 km² obejmującym cmentarz i jego najbliższe otoczenie naliczono ich ponad 90, a ich aktywność rozwoju (zapadlisk) w latach 2019–2022 była znacznie większa, niż dotychczas przypuszczano. W tym czasie na badanym obszarze powstało co najmniej 12 nowych zapadlisk, które nie były wcześniej zaobserwowane i opisane. Oznacza to, że tylko w tym okresie na tym niewielkim obszarze powstało 26 nowych zapadlisk. Południowa część cmentarza i ogródków działkowych znajduje się na obszarach, w których w przeszłości deponowano nasypy. Znaczna część zapadlisk w rejonie cmentarza stanowi reaktywację starych, zasypanych w przeszłości zapadlisk. Przeprowadzenie inwentaryzacji starych zapadlisk może doprowadzić do skutecznej prognozy i lokalizacji tego typu zagrożeń w przyszłości. Za najbardziej narażone na wystąpienie następnych zapadlisk na analizowanym obszarze należy uznać południowe części cmentarza i ogródków działkowych, a także nasyp kolejowy prowadzący do elektrowni „Siersza”. Miejsca szczególnie podatne na wystąpienie zapadlisk zaznaczono na rycinie 7. Tamtejszy teren badań również podlega deformacjom ciągłym. W przeszłości były to postępujące niecki osiadania, obecnie rejestruje się niewielkie wypiętrzanie niektórych obszarów związane prawdopodobnie z podnoszeniem się powierzchni wód gruntowych.



- Areas with the highest sinkhole risk / Obszary najbardziej zagrożone wystąpieniem zapadlisk
- Areas in which new sinkholes may occur first / Obszary, w których może dojść do wystąpienia kolejnych zapadlisk w pierwszej kolejności
- Sinkholes, presumed sinkholes / Zapadliska, zapadliska przypuszczalne

Figure 7. Areas exposed to the formation of sinkholes on the topographic base on the scale of 1:10,000
Rycina 7. Obszary zagrożone występowaniem zapadlisk na podkładzie topograficznym w skali 1:10 000
Source / Źródło: GUGiK.

Conclusions

Mining industry is an important branch of economy that supplies the raw materials necessary for the national economic and civilisation development. It is difficult to imagine how contemporary societies would function without products made from raw materials produced by mining, without power from fossil fuels, without metal products from ores, without roads and without stone products from rock raw materials. For example, sand as extracted raw material is one of the most commonly used materials on Earth [23–25].

The exploitation of mineral resources connected with human mining operations often lead to total or partial disintegration of ecological systems in all climate zones. The most evident natural consequences of strip mining in environment are the large area pits remaining from the exploitation of sand, gravel, limestone, lignite and coal. In turn, the forms connected primarily with underground mining are e.g. mining heaps. It applies both to strip mining and underground mining [25]. Due to mining exploitation, the destruction of the soil cover and vegetation prevents using the soil both for agricultural purposes and municipal functions. Although former industrial and mining areas are considered as inutile from the agricultural perspective, they remain valuable in relation to the potential economic, municipal and social functions, in particular in highly urbanised regions [26].

The methods of reducing the negative environmental impact of mining have been developed and upgraded at all stages of

Podsumowanie

Górnictwo jest ważną gałęzią gospodarki, dostarczającą surowców niezbędnych do rozwoju ekonomicznego i cywilizacyjnego kraju. Trudno sobie wyobrazić, jak współczesne społeczeństwa funkcjonowałyby bez produktów uzyskiwanych z surowców wydobywanych metodami górniczymi, bez energii wytwarzanej ze spalania paliw kopalnych, bez wyrobów metalowych otrzymywanych z rud, bez dróg i wyrobów kamiennych wytwarzanych z surowców skalnych. Przykładowo piasek, jako wydobywany surowiec, jest jednym z najczęściej stosowanych materiałów na Ziemi [23–25].

Eksploatacja zasobów mineralnych związana z działalnością górnictwem człowieka często prowadzi do całkowitej lub częściowej dezintegracji systemów ekologicznych we wszystkich strefach klimatycznych. Najbardziej widocznymi naturalnymi konsekwencjami górnictwa odkrywkowego w środowisku są wielkoobszarowe wyrobiska powstałe po eksploatacji piasku, żwiru, wapienia, węgla brunatnego i węgla kamiennego. Z kolei formami związanymi głównie z górnictwem podziemnym są np. hałdy kopalniane. Dotyczy to zarówno górnictwa odkrywkowego, jak i podziemnego [25]. W wyniku eksploatacji górniczej zniszczenie pokrywy glebowej i roślinności uniemożliwia wykorzystanie gruntów zarówno do celów rolniczych, jak i na funkcje komunalne. Pomimo że tereny przemysłowe i pogórnice uznawane są za nieprzydatne z rolniczego punktu widzenia, pozostają jednak cenne w odniesieniu do możliwych funkcji gospodarczych, komunalnych i społecznych, szczególnie w regionach silnie zurbanizowanych [26].

mining operations, from exploration works to mine decommissioning. One of the methods globally used to reduce the negative environmental impact of mining is the restoration of former mining areas, which restores the useful or natural value of areas transformed by mining operations [27]. In former mining areas, the development and reconstruction of ecological systems in the degraded areas of different regions depend on the environmental policy of local government and their financial capacity. An example of transformation of post-industrial areas into semi-natural areas is the successful formation of a large botanic garden in the former mining town of Radzionków (Southern Poland) [28]. Sandy landscapes may be the results of industrial activity dated to the Middle Ages, in the form of mining and smelting. The members of the "Ekosystemy" research team published the results of research on plant succession processes on sands and their interpretation for biomass growth in the "Land" periodical. The study documented the changes in the surface and underground phytomass of plants and their impact on soil properties. In these desert conditions, Rahmonov et al. [29] identified changes in biomass growth and soil properties along with the progress in plant succession. On the other hand, Pratiwi/Narendra et al., a large team of scientists, presented a review article on the management and re-forestation of the degraded former mining landscape in Indonesia [30].

Polish scientists promote tourist activation of former mining areas. Rurek et al. [31] promote the theme mining village that attracts tourists to the former underground lignite mine in Northern Poland. Rostański [32], on the other hand, described the experimental development of post-zinc extracted material heaps in Ruda Śląska, transformed into a recreational area under the international LUMAT project. Solarzski and Krzysztofik [33] discussed the potential of the naturalisation of urban landscape by analysing the example of spatial development of the former mining town of Bytom.

Thus, the mining of energy, metal, chemical and rock raw materials is an inherent part of contemporary world. At the same time, mining exploitation is connected with a very strong impact on the natural environment and consequently on human life. Therefore, in present worlds it is essential to care for the natural environment and thus to reduce greenhouse gas emissions and strive towards net-zero emissions. Finally, the authors are hopeful to highlight that world leaders met in Baku (Azerbaijan) at the international climate summit to start the 29th UN Climate Conference (COP 29). The COP 29 Conference took place from 11 to 22 November 2024 and gathered the parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), including the EU and all of its Member States [34].

Metody ograniczania negatywnego wpływu górnictwa na środowisko są od dawna opracowywane i udoskonalane na wszystkich etapach działalności górniczej, od prac rozpoznawczych po likwidację zakładu górniczego. Jednym ze stosowanych na świecie sposobów ograniczenia negatywnego wpływu górnictwa na środowisko jest rekultywacja terenów pogórnich, dzięki której terenom przekształconym w wyniku działalności górniczej przywracane są wartości użytkowe lub przyrodnicze [27]. Rozwój i odbudowa systemów ekologicznych na terenach zdegradowanych w różnych regionach na terenach pogórnich są uzależnione od polityki ekologicznej samorządów i ich możliwości finansowych. Przykładem przekształcenia terenów przemysłowych w tereny półnaturalne jest pomyślnie utworzenie dużego ogrodu botanicznego w pogórnich miejscowości Radzionków (południowa Polska) [28]. Piaszczyste krajobrazy mogą być efektem działalności przemysłowej sięgającej czasów średniowiecza w postaci ośrodka górnictwa i hutnictwa. Członkowie zespołu badawczego „Ekosystemy” opublikowali na łamach czasopisma „Land” wyniki badań dotyczące procesów sukcesji roślinnej zachodzącej na piaskach oraz ich interpretacji pod kątem przyrostu biomasy. W pracy udokumentowano zmiany fitomasy nadziemnej i podziemnej roślin oraz ich wpływ na właściwości gleby. W tych pustynnych warunkach Rahmonov i inni [29] identyfikują zmiany w przyroście biomasy oraz cech gleby w miarę postępu sukcesji roślinnej. Natomiast Pratiwi/Narendra i inni., duży zespół naukowców, przedstawili artykuł przeglądowy na temat zarządzania i ponownego zalesiania zdegradowanego krajobrazu pogórnich w Indonezji [30].

Polscy naukowcy propagują aktywizację turystyczną terenów pogórnich. Rurek i inni [31] popularyzują tematyczną wioskę górniczą, która przyciąga turystów na teren dawnej podziemnej kopalni węgla brunatnego w północnej Polsce. Rostański [32] opisuje natomiast eksperymentalne zagospodarowanie hałd urobku pocynkowego w Rudzie Śląskiej, która w ramach międzynarodowego projektu LUMAT została przekształcona w teren rekreacyjny. Solarzski i Krzysztofik [33] omówili możliwości, jakie niesie ze sobą naturalizacja krajobrazu miejskiego, analizując przykład zagospodarowania przestrzennego pogórnich miasta Bytomia.

Wydobywanie surowców energetycznych, metalicznych, chemicznych i skalnych jest zatem nieodzowną częścią współczesnego świata. Jednocześnie jednak eksploatacja górnicza wiąże się z bardzo silną ingerencją w środowisko naturalne, a za jego pośrednictwem także w życie człowieka. Dlatego tak ważne w obecnym świecie jest dbanie o środowisko naturalne, a tym samym konieczność zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych i dążenie do neutralności emisyjnej. Kończąc artykuł, autorzy z nadzieją sygnalizują, iż światowi przywódcy spotkali się w Baku (Azerbejdżan) na międzynarodowym szczycie na rzecz klimatu, który rozpoczął 29. konferencję ONZ w sprawie zmiany klimatu (COP 29). Konferencja COP 29 odbyła się od 11 do 22 listopada 2024 r. i zgromadziła strony Ramowej konwencji ONZ w sprawie zmian klimatu (UNFCCC), wśród nich jest UE i wszystkie jej państwa członkowskie [34].

Literature / Literatura

- [1] Mishra S.K., Hitzhusen F.J., Sohngen B.L., Guldman J.M., *Costs of abandoned coal mine reclamation and associated recreation benefits in Ohio*, "J. Environ. Manag." 2012, 100, 52–58.
- [2] Misa, R., Sroka A., Tajduś K., Dudek M., *Analytical design of selected geotechnical solutions which protect civil structures from the effects of underground mining*, "J. Sustain. Min." 2019, 18, 1–7.
- [3] Al Heib M., Nicolas M., Noirel J.F., Wojtkowiak F., *Residual subsidence analysis after the end of coal mine work Example from Lorraine Colliery, France*, in: *Proceedings of the Post-Mining*, Nancy, France, 16–17 November 2005.
- [4] Guéguen Y., Deffontaines B., Fruneau B., Al Heib M., Michele M., Raucoules D., Guise Y., Planchenault J., *Monitoring residual mining subsidence of Nord/Pas-de-Calais coal basin from differential and Persistent Scatterer Interferometry (Northern France)*, "J. Appl. Geophys." 2009, 69, 24–34.
- [5] Cała M., Tajduś A., Andrusikiewicz W., Kowalski M., Kolano M., Stopkowicz A., Cyran K., Jakóbczyk J., *Long term analysis of deformations in salt mines: Kłodawa Salt Mine case study, central Poland*, "Arch. Min. Sci." 2017, 62, 565–577.
- [6] Hoek E., *Surface and Underground Project Case Histories: Comprehensive Rock Engineering: Principles, Practice and Projects*, Elsevier, Amsterdam 2016.
- [7] Bell F.G., Bullock S.E.T., Hällich T.F.J., Lindsay P., *Environmental impacts associated with an abandoned mine in the Witbank Coalfield*, "South Africa. Int. J. Coal Geol." 2001, 45, 195–216, <https://doi.org/10.1007/s40789-020-00375-4>.
- [8] Gray R.E., Bruhn R.W., Turka R.J., *Study and Analysis of Surface Subsidence over the Mined Coal Bed*, GAI Consultants Inc., Springfield, IL, USA 1977.
- [9] Vervoort A., Declercq P.Y., *Surface movement above old coal longwalls after mine closure*, "Int. J. Min. Sci. Technol." 2017, 27, 481–490.
- [10] Niemczyk O.m *Bergschadenkunde—Investigation of subsidence damage caused by mining*, Verlag Glückauf 1949, 27, 291.
- [11] Flaschenträger H., *Considerations on ground movement phenomena based on observations made in the left bank Lower Rhine region*, in: *Proceedings of the European Congress on Ground Movement*, Leeds 1957, 58–73.
- [12] Czubik E., *Über die zeitliche Entwicklung des Senkungsablaufes an der Tagesoberfläche beim Abbau von Steinkohlenflözen*, Berg-Und Hütten-Männische Mon., 1971, 69, 293–301.
- [13] Knufinke P., *Zum Phänomen lokaler Höhenänderungen an der Tagesoberfläche*, in: *Proceedings of the IX Congress ISM*, Praha, Czech Republic, 18–22 April 1994.
- [14] Blachowski J., Cacon S., Milczarek W., *Analysis of post-mining ground deformations caused by underground coal extraction in complicated geological conditions*, "Acta Geodyn. Geomater" 2009, 6, 351–357.
- [15] Słownik pojęć i terminów stosowanych w raportach Centrum Geozagrożeń PIG-PIB dotyczących zapadlisk, <https://www.pgi.gov.pl/zapadliska-home/slownik-pojec.html> [dostęp: 10.11.2024].
- [16] Głowacki T., Milczarek W., *Powierzchniowe deformacje wtórne dawnych terenów górniczych*, "Min. Sci." 2013, 20, 39–55.
- [17] Schäfer A., *Zur Verteilung der Bodenbewegungen an der Tagesoberfläche nach Grubenwasseranstieg in einer Steinkohlenlagerstätte*, in: *Proceedings of the Bergbau, Energie und Rohstoffe*, Tagungsband, Freiberg, Germany, 7–9.10.2015, 158–170.
- [18] Oksińska B., *Zielona energia przyćmiła paliwa kopalne. Pierwsza taka sytuacja w historii UE*, <https://businessinsider.com.pl/gospodarka/zielona-energia-przycmila-paliwa-kopalne-pierwsza-taka-sytuacja-w-historii-ue/5emqcgcv> [dostęp: 30.10.2024].
- [19] Jaroszewski W., *Czy geologia jest nauką?*, "Przegląd Geologiczny" 1985, 33, 10, <https://geojournals.pgi.gov.pl/pg/article/view/17912> [dostęp: 30.10.2024].
- [20] Główny Instytut Górnictwa w Katowicach, <https://zapadliska.gig.eu> [dostęp: 30.10.2024].
- [21] Technical library, <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/european-ground-motion-service> [dostęp: 30.10.2024].
- [22] Wychodnie skalne, Portal Zielone Podkarpacie, <https://www.zielonepodkarpacie.pl/formy-skalne/wychodnie-skalne/> [dostęp: 30.10.2024].
- [23] Peduzzi P., *UNEP. Global Environmental Alert Service—Sand, Rarer than One Thinks*, UNEP, Athens 2014.
- [24] Dulias R., *Landscape planning in areas of sand extraction in the Silesian Upland, Poland*, "Landsc. Urban Plan." 2010, 95, 3, 91–104, <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.006>.
- [25] Gorova A., Pavlychenk, A., Kulyna S., *Ecological Problem of post-mining areas*, in: *Geomechanical Processes during Underground Mining*, G. Pivnyak, V. Bondarenko, I. Kovalevs'ka, M. Illiashov, (eds.), CRC Press, Boca Raton, USA 2012.
- [26] Rózkowski J., Rahmonov O., Szymczyk A., *Environmental Transformations in the Area of the Kuźnica Warężyńska Sand Mine, Southern Poland*, "Land" 2020, 9, 116, <https://doi.org/10.3390/land9040116>.
- [27] Abramowicz A., Rahmonov O., Chybiorz R., *Environmental Management and Landscape Transformation on Self-Heating Coal-Waste Dumps in the Upper Silesian Coal Basin*, "Land" 2021, 10, 23, <https://doi.org/10.3390/land10010023>.
- [28] Kantor-Pietraga I., Zdyrko A., Bednarczyk J., *Semi-Natural Areas on Post-Mining Brownfields as an Opportunity to Strengthen the Attractiveness of a Small Town. An Example of Radzionków in Southern Poland*, "Land" 2021, 10, 761, <https://doi.org/10.3390/land10070761>.
- [29] Rahmonov O., Skreczko S., Rahmonov M., *Changes in Soil Features and Phytomass during Vegetation Succession in Sandy Areas*, "Land" 2021, 10, 265, <https://doi.org/10.3390/land10030265>.
- [30] Pratiwi Narendra B.H., Siregar C.A., Turjaman M. et al., *Managing and Reforesting Degraded Post-Mining Landscape in Indonesia: A Review*, "Land" 2021, 10, 658, <https://doi.org/10.3390/land10060658>.

- [31] Rurek M., Gonia A., Hojan M., *Environmental and Socio-Economic Effects of Underground Brown Coal Mining in Piła Młyn (Poland)*, "Land" 2022, 11, 219, <https://doi.org/10.3390/land11020219>.
- [32] Rostański K.M., *Contaminated Areas as Recreational Places—Exploring the Validity of the Decisions Taken in the Development of Antonia Hill in Ruda Śląska, Poland*, "Land" 2021, 10, 1165, <https://doi.org/10.3390/land10111165>.
- [33] Solarski M., Krzysztofik R., *Is the Naturalization of the Townscape a Condition of De-Industrialization? An Example of Bytom in Southern Poland*, "Land" 2021, 10, 838, <https://doi.org/10.3390/land10080838>.
- [34] Światowy szczyt na rzecz klimatu COP 29 (Baku, Azerbejdżan), 12–13 listopada 2024, Portal internetowy Rady UE i Rady Europejskiej, <https://www.consilium.europa.eu/pl/meetings/international-summit/2024/11/12-13/> [dostęp: 03.12.2024].

KRZYSZTOF CYGAŃCZUK, PH.D. ENG. – completed his graduate studies at the Szczecin University and doctoral studies at the War Studies University in Warsaw, as well as post-graduate studies in the field of foreign service at the National Defence Academy, studies in data protection and information security at the Cardinal Stefan Wyszyński University in Warsaw and studies in crisis management at the NATO Defence College in Rome and the NATO School (3 x Oberammergau). He is an assistant professor at the Department of Research Studies and Scientific Projects at the CNBOP-PIB in Józefów. He is the author and co-author of more than 30 scientific papers in the field of environmental engineering and security studies. He has participated in many international and domestic scientific conferences as member of scientific committees. A representative of Technical Committee no. 176 for Military Technology and Supply at the Polish Committee for Standardization.

JACEK ROGUSKI, PH.D. PROF. OF THE INSTITUTE – focuses in his research work on aspects related to the safety of use of technical equipment in the firefighting sectors and the problems of operation of technical equipment. His current work focuses on issues related to the link between, on the one hand, ergonomics and ergonometry, and on the other hand, the optimization of the processes of operation and reliability of equipment using elements of the theory of reliability and virtual reality, and improving the safety of rescue operations by implementing innovative technologies. He is the author or co-author of a number of articles, monographs and presentations given at conferences in Poland and abroad. His scientific output has been recognized with 19 international and domestic awards granted at invention exhibitions for his research or development works and by his assignment to various functions in scientific committees of 10 international and domestic scientific conferences. He is the co-author of 5 patents and designs.

DR INŻ. KRZYSZTOF CYGAŃCZUK – ukończył studia magisterskie na Uniwersytecie Szczecińskim oraz studia doktoranckie w Akademii Sztuki Wojennej w Warszawie, a także studia podyplomowe z zakresu służby zagranicznej w Akademii Obrony Narodowej, ochrony danych i bezpieczeństwa informacji na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego w Warszawie oraz zarządzania kryzysowego w NATO Defence College (Rzym) i NATO School (3 x Oberammergau). Jest adiunktem w Dziale Prac Studialnych i Projektów Naukowych w CNBOP-PIB w Józefowie. Autor i współautor ponad 30 artykułów naukowych w dziedzinie inżynierii środowiska oraz nauk o bezpieczeństwie. Uczestnik wielu konferencji naukowych w formacie międzynarodowym i krajowym pełniącym funkcje w komitetach naukowych. Przedstawiciel Komitetu Technicznego nr 176 ds. Techniki Wojskowej i Zaopatrzenia w Polskim Komitecie Normalizacyjnym.

DR INŻ. JACEK ROGUSKI, PROFESOR INSTYTUTU – zajmuje się naukowo aspektami związanymi z zagadnieniami bezpieczeństwa użytkowania wyposażenia technicznego w straży pożarnej oraz problemami eksploatacji urządzeń technicznych. Obecnie prowadzone prace koncentrują się na zagadnieniach związanych z powiązaniem aspektów ergonomii i ergonometrii z optymalizacją procesów eksploatacji i niezawodności sprzętu z wykorzystaniem elementów teorii niezawodności i wirtualnej rzeczywistości oraz podniesienia bezpieczeństwa działań ratowniczych przez wdrażanie innowacyjnych technologii. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów i monografii oraz wystąpień na konferencjach krajowych i zagranicznych. Dorobek naukowy został potwierdzony przyznaniem 19 międzynarodowych i krajowych wyróżnień na wystawach wynalazczości wynikających z prowadzenia badań naukowych lub prac rozwojowych oraz pełnienie funkcji w komitetach naukowych 10 międzynarodowych oraz krajowych konferencji naukowych. Współautor 5 patentów i wzorów.

BESTSELLER WŚRÓD RATOWNIKÓW

Kieszonkowy poradnik kierującego działaniem ratowniczym

**JUŻ DOSTĘPNY
DLA POLSKICH CZYTELNIKÓW!**

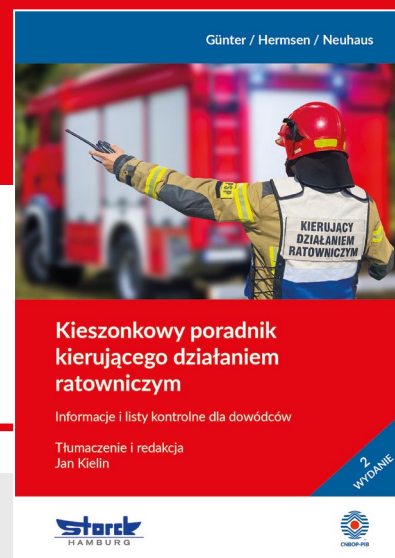
**Wodoodporna, kompaktowa publikacja,
w której strażacy znajdują:**

- ✓ rozmaite scenariusze zdarzeń
- ✓ wskazówki dot. postępowania w obliczu różnych zagrożeń
- ✓ przejrzyste informacje i schematy działań

W tym wydaniu nowość:

- ✓ niepublikowane dotąd i zaktualizowane karty ratownicze dot. postępowania podczas działań CBRNE
- ✓ odesłania do materiałów informacyjnych KG PSP w postaci elektronicznej

**Specjalna konstrukcja Poradnika sprawia, że stanowi on szybką pomoc dla ratowników w początkowej fazie działań ratowniczych...
A to właśnie decyzje dowódców podejmowane na tym etapie mają kluczowe znaczenie dla efektywności całych akcji.**



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

Dostępny w sklepie
<https://online.cnbop.pl>

Wojciech Wróblewski^{a*)}, Dorota Seliga^{a)}

^{a)} Fire University / Akademia Pożarnicza

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: wwroblewski@apoz.edu.pl

Safety of Systems Integrating Fire Protection Equipment – Risks, Gaps, Recommendations

Bezpieczeństwo systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe – zagrożenia, luki, rekomendacje

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this study is to identify cyber threats associated with systems integrating fire protection devices (SIUP). The analysis includes conducting a comprehensive assessment of potential attack sites (vulnerabilities) and recommendations for building designers and managers to minimise adverse actions.

Project and methods: A detailed review of the literature and cybersecurity standards applicable to fire protection systems, such as NFPA 72, was conducted, from which key points that are vulnerable elements and represent attack surfaces were identified. *The Cybersecurity for Fire Protection Systems* report from a workshop held by the Research Foundation in 2021 was analysed.

Results: Analysis of the collected research material showed that the key points of vulnerability are human factors, software, hardware, wired and wireless connections and system security. In addition, internal threats, i.e. lack of training, malicious action by employees, invasion by unknown software and too much access by security personnel to system components, are also important issues. It has been found that cybercriminals can use various techniques: denial-of-service (DoS) attacks, man-in-the-middle attacks, remote code execution and social engineering, to disrupt systems. To prevent this and minimise the risk of attacks, it is recommended that security configuration guides should be issued, that specialists should be employed and that strategies should be created to increase the resilience of systems integrating fire appliances to cyber attacks. Currently, Polish regulations are mainly based on the technical aspects of SIUP operation, i.e. the installation and operation of alarm systems. There is a lack of relevant legal regulations that directly address the issue of the network and cyber security of these systems.

Conclusions: It is necessary to urgently develop and implement comprehensive legal regulations that would take into account the specificity of the cyber security of fire protection systems in Poland. Future research should also focus on the human factor aspects of SIUP systems security.

Keywords: safety, cyber security, fire protection, system integrating fire protection devices, SIUP, fire protection device

Type of article: original scientific article

Received: 19.11.2024; Reviewed: 02.12.2024; Accepted: 05.12.2024;

Authors' ORCID IDs: W. Wróblewski – 0000-0003-3415-9485; D. Seliga – 0009-0005-1792-4474;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 84–100, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.6>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem niniejszego badania jest identyfikacja zagrożeń cybernetycznych związanych z systemami integrującymi urządzenia przeciwpożarowe. Analiza obejmuje przeprowadzenie kompleksowej oceny potencjalnych miejsc ataku (luk) oraz rekomendacje dla projektantów i zarządców budynku służące minimalizacji działań niepożądanych.

Projekt i metody: Przeprowadzono szczegółowy przegląd literatury oraz standardów cyberbezpieczeństwa stosowanych w systemach ochrony przeciwpożarowej, np. NFPA 72. Na ich podstawie zidentyfikowano kluczowe punkty, które są elementami wrażliwymi i stanowią powierzchnię ataku. Przeanalizowano raport *Cybersecurity for Fire Protection Systems* z przeprowadzonych warsztatów zorganizowanych przez Research Foundation w 2021 roku.

Wyniki: Analiza zebranego materiału badawczego wykazała, że kluczowymi punktami podatności są: czynnik ludzki, oprogramowanie, sprzęt, połączenia przewodowe i bezprzewodowe oraz bezpieczeństwo systemowe. Ponadto istotną kwestią są też zagrożenia wewnętrzne – brak szkoleń, złośliwe działanie zatrudnionych, inwazja nieznanego oprogramowania oraz zbyt duży dostęp pracowników ochrony do elementów systemu. Stwierdzono, iż w celu zakłócenia działania systemów cyberprzestępcy mogą wykorzystać różne techniki: ataki DoS, ataki typu *man-in-the-middle*, zdalne wykonanie kodu oraz inżynierię społeczną. Aby temu zapobiec i zminimalizować ryzyko wystąpienia ataków, rekomenduje się obowiązek wydania przewodników

dotyczących konfiguracji zabezpieczeń, zatrudnienie specjalistów, utworzenie strategii mających na celu zwiększenie odporności systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe na cyberataki. Obecnie polskie przepisy opierają się głównie na aspektach technicznych działania SIUP, tj. montażu i eksploatacji systemów alarmowych. Brakuje odpowiednich regulacji prawnych, które bezpośrednio odnosiłyby się do kwestii zabezpieczeń sieciowych i cybernetycznych tych systemów.

Wnioski: Konieczne jest pilne opracowanie i wdrożenie kompleksowych regulacji prawnych, które uwzględniałyby specyfikę cyberbezpieczeństwa systemów ochrony przeciwpożarowej w Polsce. Takie przepisy powinny obejmować nie tylko aspekty techniczne, ale także organizacyjne i proceduralne. Regulacje te muszą być na tyle elastyczne, aby mogły nadążać za szybko zmieniającym się krajobrazem zagrożeń cybernetycznych. W ramach przyszłych badań należy także skupić się na aspektach związanych z czynnikiem ludzkim w kontekście bezpieczeństwa systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, cyberbezpieczeństwo, ochrona przeciwpożarowa, SIUP, urządzenie przeciwpożarowe

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 19.11.2024; Zrecenzowany: 02.12.2024; Zaakceptowany: 05.12.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: W. Wróblewski – 0000-0003-3415-9485; D. Seliga – 0009-0005-1792-4474;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 84–100, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.6>;

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

Introduction

Today's fire protection systems, with advances in technology, have moved from traditional, isolated installations to complex, digitally integrated networks. Increasingly, fire systems and building control systems (BCS) are being combined into a single, integrated whole, allowing them to be monitored and managed in real time. This integration allows data to be exchanged between the various components, enabling them to interact with each other, and automating tasks and creating synergies [1].

This way of managing systems increases the effectiveness of emergency response and enables system functions to be dynamically adapted to changing site conditions.

According to CNBOP-PIB guidelines, a system integrating fire protection devices (referred to as SIUP) is a “tool supporting the control and operation of fire safety systems used in a building. By presenting the collected data in a clear and intuitive manner, it allows supervision of the status and interaction of individual components of the integrated systems and supports the work of the operator in making decisions with their implementation by manually triggering the execution of specific actions” [2].

In Poland, the technical guidelines and standards governing the installation, operation and interoperability of such systems are of key importance for SIUP. Detailed normative documents applicable to these systems in Poland are presented below [2]:

- CNBOP-PIB *Guidelines for the design, installation, commissioning, operation and maintenance of systems integrating fire protection equipment* W-0007:2024 (2nd extended edition, November 2024) SITP WP-05:2024 [3];
- *Design Guidelines for Fire Prevention Equipment Rooms and Service Areas in Buildings. Location, Performance Conditions, Equipment* CNBOP-PIB W-0001:2014 Issue 3 Extended, December 2023 [4];
- National Technical Assessments;
- NFPA 4 – *Standard for Integrated Fire Protection and Life Safety System Testing* [5];
- EN 54-13: *Fire detection and fire alarm systems – Part 13:*

Wprowadzenie

Współczesne systemy ochrony przeciwpożarowej, wraz z rozwojem technologii, przeszły przemianę od tradycyjnych, odizolowanych instalacji do złożonych, cyfrowo zintegrowanych sieci. Coraz częściej systemy pożarowe oraz systemy zarządzania budynkiem (ang. *building control systems*, BCS) są łączone w jedną, zintegrowaną całość, co pozwala na monitorowanie i zarządzanie nimi w czasie rzeczywistym. Dzięki tej integracji zachodzi wymiana danych między różnymi komponentami, umożliwiającą ich wzajemną interakcję, automatyzację zadań oraz uzyskanie efektu synergii [1].

Taki sposób zarządzania systemami zwiększa skuteczność reakcji na sytuacje awaryjne i stwarza możliwość dynamicznego dostosowywania funkcji systemów w zależności od zmieniających się warunków w obiekcie.

Zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB system integrujący urządzenia przeciwpożarowe (SIUP) stanowi „narzędzie wspomagające kontrolę i obsługę zastosowanych w obiekcie budowlanym systemów bezpieczeństwa pożarowego. Poprzez przedstawienie zgromadzonych danych w sposób czytelny i intuicyjny pozwala na nadzór stanu i interakcji poszczególnych komponentów integrowanych systemów oraz wspomaga pracę operatora w podejmowaniu decyzji wraz z ich wdrożeniem poprzez ręczne wywołanie realizacji określonych działań” [2].

W Polsce kluczowe znaczenie dla SIUP mają wytyczne i normy techniczne regulujące kwestie ich instalacji, obsługi oraz współdziałania. Poniżej przedstawiono szczegółowe dokumenty normatywne obowiązujące dla tych systemów w Polsce [2]:

- *Wytyczne projektowania, instalowania, uruchamiania, obsługi i konserwacji systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe* CNBOP-PIB W-0007:2024 (wyd. 2 rozszerzone, listopad 2024) SITP WP-05:2024 [3];
- *Wytyczne Projektowania Pomieszczenia i Miejsca Obsługi Urządzeń Przeciwpożarowych w Budynkach. Lokalizacja, Warunki Wykonania, Wyposażenie* CNBOP-PIB W-0001:2014, wydanie 3 rozszerzone, grudzień 2023 [4];

Compatibility and connectability assessment of system components [6]:

- equipment according to PN-EN 54 (type 1 components),
- external equipment (type 2 components).

On the other hand, the SIUP is also subject to certification, which is defined by regulations relating to construction products, such as Regulation CPR 305/2011 (EU) as well as fire protection regulations, i.e. the Act of 24 August 1991 on fire protection, Polish Journal of Laws 2024, item 275, 1222 [7].

The Regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration of 7 June 2010 on fire protection of buildings, other buildings and grounds (Journal of Laws No. 109, item 719 of 22.06.2010) [8] provides a detailed definition of fire protection equipment. In accordance with § 2 para. 1 they are defined as “devices (fixed or semi-permanent, manually or automatically operated) serving to prevent, detect and fight a fire or to limit its effects, in particular: fixed and semi-permanent firefighting and safety devices, inerting devices, devices forming part of the voice alarm system and the fire alarm system, including signalling and alarm devices, fire alarm receiving devices and damage signal receiving devices, evacuation lighting systems, internal hydrants and hydrant valves, external hydrants, pumps in fire pumping stations, fire shut-off dampers, smoke extraction devices, explosion prevention and mitigation devices, smoke curtains and doors, and fire gates and other fire closures, if equipped with control systems, fire electric switches and lifts for rescue teams”. Thus, the SIUP links together various systems and equipment (see Figure 1), such as the:

- fire alarm and extinguishing control system: detection of danger and automatic initiation of action, e.g. activation of extinguishing equipment,
- fixed firefighting systems – integration of fixed firefighting systems,
- control system for domestic and fire ventilation dampers – control of ventilation dampers, smoke extraction,
- emergency lighting – to support evacuation by adjusting lighting levels in the building,
- gas detection system – monitoring the level of dangerous gases in the premises,
- access control system – managing access to selected areas of the facility, restricting it to authorised persons
- video surveillance system (VSS/CCTV): visual monitoring of the building.

- Krajowe Oceny Techniczne;
- NFPA 4 – Standard for Integrated Fire Protection and Life Safety System Testing [5];
- PN-EN 54-13: Systemy sygnalizacji pożarowej – Część 13: Ocena kompatybilności możliwości przyłączenia podzespołów systemu [6]:
 - urządzenia zgodne z PN-EN 54 (podzespoły typu 1),
 - urządzenia zewnętrzne (podzespoły typu 2).

Z drugiej strony SIUP obowiązuje też certyfikacja, którą określają przepisy odnoszące się do wyrobów budowlanych, takie jak Rozporządzenie CPR 305/2011 (UE), a także przepisy z zakresu ochrony przeciwpożarowej, tj. ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. 2024, poz. 275, 1222) [7].

W rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. 2020 Nr 109, poz. 719) [8] zawarto szczegółową definicję urządzeń przeciwpożarowych. Zgodnie z § 2 ust. 1 definiuje się je jako „urządzenia (stałe lub półstałe, uruchamiane ręcznie lub samoczynnie) służące do zapobiegania powstaniu, wykrywania, i zwalczania pożaru lub ograniczania jego skutków, a w szczególności: stałe i półstałe urządzenia gaśnicze i zabezpieczające, urządzenia inertyzujące, urządzenia wchodzące w skład dźwiękowego systemu ostrzegawczego i systemu sygnalizacji pożarowej, w tym urządzenia sygnalizacyjno-alarmowe, urządzenia odbiorcze alarmów pożarowych i urządzenia odbiorcze sygnałów uszkodzeniowych, instalacje oświetlenia ewakuacyjnego, hydranty wewnętrzne i zawory hydrantowe, hydranty zewnętrzne, pompy w pompowniach przeciwpożarowych, przeciwpożarowe kłapy odcinające, urządzenia oddymiające, urządzenia zabezpieczające przed powstaniem wybuchu i ograniczające jego skutki, kurtyny dymowe oraz drzwi, i bramy przeciwpożarowe i inne zamknięcia przeciwpożarowe, jeżeli są wyposażone w systemy sterowania, przeciwpożarowe wyłączniki prądu oraz dźwigi dla ekip ratowniczych”. Zatem SIUP łączy ze sobą różne systemy i urządzenia (zob. ryc. 1), takie jak:

- system sygnalizacji pożarowej i sterowania gaszeniem: detekcja zagrożenia i automatyczne inicjowanie działania np. uruchamianie urządzeń gaśniczych,
- stałe urządzenia gaśnicze: integracja stałych systemów gaśniczych,
- system sterowania kłapami wentylacji bytowej i pożarowej: kontrola kłap wentylacyjnych, odprowadzenie dymu,
- oświetlenie awaryjne: wsparcie ewakuacji poprzez dostosowanie poziomu oświetlenia w budynku,
- system detekcji gazów: monitorowanie poziomu niebezpiecznych gazów w pomieszczeniach,
- system kontroli dostępu: zarządzanie dostępem do wybranych stref obiektu, ograniczając go dla osób nieupoważnionych,
- system nadzoru wizyjnego (VSS/CCTV): monitorowanie wizualne budynku.

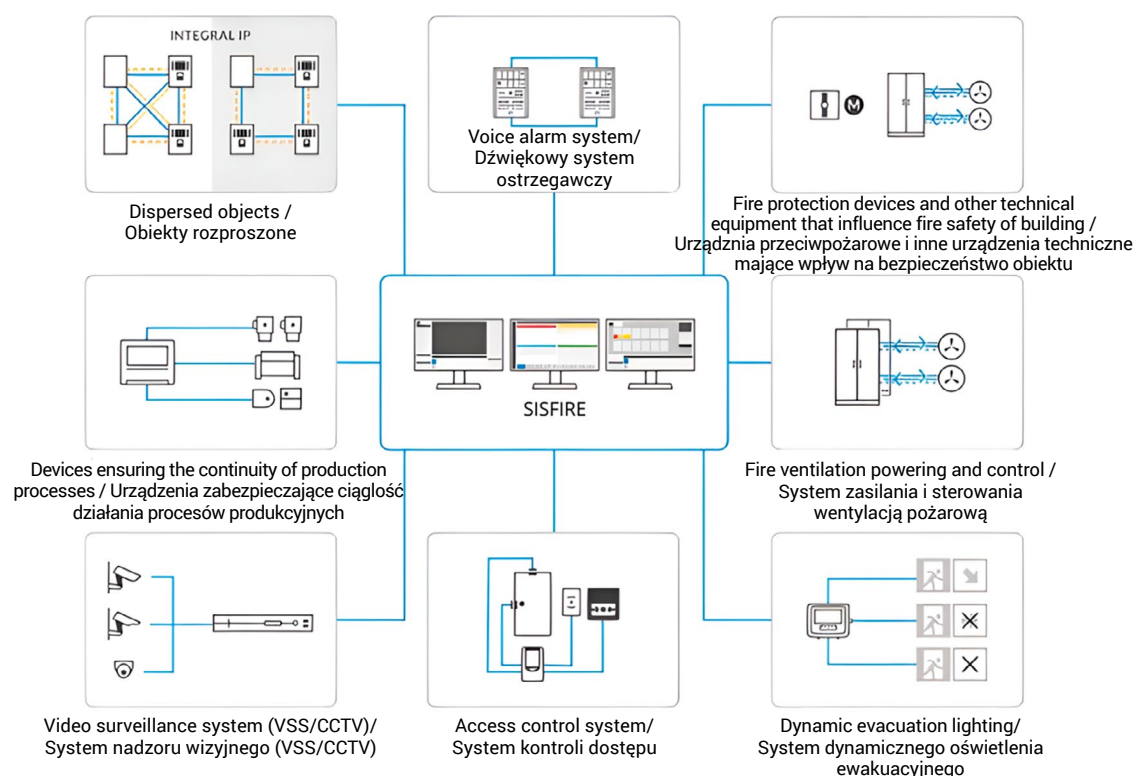


Figure 1. Schematic diagram of the SIS-FIRE fire appliance integration system from manufacturer Schrack Seconet showing interaction with external systems
Rycina 1. Schemat ideowy systemu integrującego urządzenia przeciwpożarowe SIS-FIRE producenta Schrack Seconet przedstawiający współdziałanie z systemami zewnętrznymi

Source / Źródło: K. Kunecki, *Zintegrowany system bezpieczeństwa pożarowego* [2].

An SIUP is an installation enabling [9]:

- manual and automatic control of firefighting equipment and systems,
- verification of the fire alarm signal by other security systems,
- monitoring of the operational status of equipment.

In addition, an SIUP enables the integration of other systems that, although not formally recognised as fire safety systems, affect the level of safety of the facility and its occupants.

The level of safety is also influenced by hardware reliability, which plays a key role in functional safety systems, as required by EN IEC 61508 and sector standards. The safety integrity levels (SIL) defined in the standard specify the requirements for hardware reliability, including the probability of failure on demand and the level of system diagnostics. By implementing redundancy, self-monitoring and real-time failure monitoring mechanisms, the risk of safety-critical failures can be minimised. In the case of SIUP, meeting these requirements directly affects the effectiveness of fire threat detection and response, ensuring high reliability and compliance with applicable standards and regulations.

SIUP stanowi instalację pozwalającą na [9]:

- ręczne i automatyczne sterowanie urządzeniami i systemami przeciwpożarowymi,
- weryfikację sygnału alarmu pożarowego przy pomocy innych systemów bezpieczeństwa,
- monitorowanie stanu pracy urządzeń.

Dodatkowo SIUP umożliwia integrację innych systemów, które – mimo że nie są formalnie uznawane za systemy bezpieczeństwa pożarowego – wpływają na poziom bezpieczeństwa obiektu i osób w nim przebywających.

Na poziom bezpieczeństwa wpływa również niezawodność sprzętowa, która odgrywa kluczową rolę w systemach funkcjonalnego bezpieczeństwa, zgodnie z wymaganiami normy PN-EN IEC 61508 oraz norm sektorowych. Określone w normie poziomy nienaruszalności bezpieczeństwa (ang. *safety integrity level*, SIL) precyzują wymagania dotyczące niezawodności sprzętu, w tym prawdopodobieństwa awarii na żądanie oraz poziomu diagnostyki systemu. Implementacja mechanizmów redundancji, samokontroli i monitorowania awarii w czasie rzeczywistym pozwala na minimalizację ryzyka uszkodzeń krytycznych dla bezpieczeństwa. W przypadku SIUP spełnienie tych wymagań bezpośrednio wpływa na skuteczność detekcji oraz reakcji na zagrożenia pożarowe, zapewniając wysoką niezawodność i zgodność z obowiązującymi normami i przepisami.

Increased integration risks

In integrated building systems, each subsystem, such as fire-fighting equipment, has dedicated operating algorithms that process inputs and generate output signals to other systems. For example, the fire alarm system (FAS) receives information from various sensors (smoke, temperature, flame, etc.) and then sends signals to the firefighting equipment, the VAS (voice alarm system) and other systems that manage the operation of the building.

The lighting system, in turn, is controlled by light intensity sensors that provide an uninterrupted signal to the energy management and lighting control systems. Due to the technological diversity, information processing requires different algorithms and local processing units. These algorithms can relate to fire protection, general security (such as intrusion monitoring), comfort provision and equipment diagnostics, among other things [1].

However, such systems may be integrated with external networks. The risk of accessing the public Internet then arises. Such a connection increases the risk of cyber threats, which can result in serious consequences, such as the disruption of key life and property protection systems.

Overview of research to date

The topic of cyberterrorism in systems integrating fire protection devices is relatively new and little researched. The lack of extensive literature on the subject reflects its novelty in the field of cyber security.

As a result of digital transformation, cyber attacks aimed at stealing data or disrupting key services are on the rise. A study on the Shodan.io platform (a search engine for Internet-connected devices) found 43,500 building management systems (BCS) vulnerable to cyber threats. Similarly, fire protection systems that were previously less vulnerable to attacks are becoming increasingly exposed to cyber threats through connections to BCSs, IoT and other publicly available platforms [10].

To address these challenges, 16 NFPA standards, including NFPA 72 [11] (National Fire Alarm and Signaling Code®), incorporate cyber security guidelines covering hardware, software, data paths and physical protection of systems. The latest edition introduces security levels (SL1–SL3) tailored to the severity of cyber threats. Despite the introduction of these guidelines, knowledge of system vulnerabilities remains limited.

Research to date on cyber security in the context of fire protection systems indicates a lack of comprehensive analyses of the risks posed by their complex integration into systems [12]. While component-specific security guidelines exist (NFPA 72, UL 2572), there is a lack of consistent standards that take into account the specifics of fire protection systems and their connection to external networks.

To bridge this gap, the Fire Protection Research Foundation, an NFPA affiliate, has launched a study on cyber vulnerabilities in fire protection systems. The report, sponsored by ASHE, Procter and Gamble and Telgian, offers an overview of the standards, assesses vulnerabilities and risks, and provides strategies for mitigation.

Wzrost ryzyka związanego z integracją

W zintegrowanych systemach budynkowych każdy podsystem (np. urządzenia gaśnicze) posiada dedykowane algorytmy działania, które przetwarzają dane wejściowe i generują sygnały wyjściowe do innych systemów. Na przykład, system sygnalizacji pożarowej (SSP) odbiera informacje z różnych czujników (dymu, temperatury, płomienia itp.), a następnie przesyła sygnały do urządzeń gaśniczych, systemu DSO (dźwiękowych systemów ostrzegawczych) oraz innych systemów zarządzających funkcjonowaniem budynku.

Z kolei system oświetleniowy jest kontrolowany przez sensory natężenia światła, które dostarczają nieprzerwany sygnał do systemów zarządzania energią i sterowania oświetleniem. Ze względu na zróżnicowanie technologiczne przetwarzanie informacji wymaga stosowania różnych algorytmów i lokalnych jednostek przetwarzających. Algorytmy te mogą dotyczyć m.in. ochrony przeciwpożarowej, bezpieczeństwa ogólnego (jak monitorowanie włamań), zapewnienia komfortu użytkownikom obiektu oraz diagnostyki urządzeń [1].

Powyższe systemy mogą być zintegrowane z zewnętrznymi sieciami. Pojawia się wtedy ryzyko związane z dostępem do publicznego Internetu. Takie połączenie zwiększa ryzyko zagrożeń cybernetycznych, co może skutkować poważnymi konsekwencjami, takimi jak zakłócenia pracy kluczowych systemów ochrony życia i mienia.

Przegląd dotychczasowych badań

Temat cyberterrorizmu w systemach integrujących urządzenia przeciwpożarowe jest stosunkowo nowy i mało zbadany. Stan ten zdaje się potwierdzać brak obszernej literatury przedmiotu.

W wyniku transformacji cyfrowej rośnie liczba cyberataków mających na celu kradzież danych lub zakłócenie kluczowych usług. Badanie na platformie Shodan.io (wyszukiwarka dla urządzeń podłączonych do Internetu) wykazało obecność 43,5 tys. systemów zarządzania budynkiem (BCS) narażonych na cyberzagrożenia. Podobnie, systemy ochrony przeciwpożarowej, które wcześniej były mniej podatne na ataki, stają się coraz bardziej narażone na cyberzagrożenia przez połączenia z systemami BCS, IoT i innymi publicznie dostępnymi platformami [10].

Aby sprostać opisanym wyżej wyzwaniom, 16 norm NFPA, w tym NFPA 72 [11] (ang. *National Fire Alarm and Signaling Code®*), uwzględnia wytyczne dotyczące zabezpieczeń cybernetycznych, obejmujące sprzęt, oprogramowanie, ścieżki transmisji danych oraz fizyczną ochronę systemów. W najnowszej edycji wprowadzono poziomy zabezpieczeń (SL1–SL3) dostosowane do stopnia zagrożeń cybernetycznych. Mimo powstania tych wytycznych, wiedza na temat słabości systemów pozostaje ograniczona.

Dotychczasowe badania nad cyberbezpieczeństwem w kontekście systemów ochrony przeciwpożarowej wskazują na brak kompleksowych analiz zagrożeń wynikających z ich złożonej integracji z systemami [12]. Choć istnieją wytyczne dotyczące bezpieczeństwa dla poszczególnych komponentów (NFPA 72, UL 2572), nie ma spójnych standardów uwzględniających specyfikę systemów przeciwpożarowych i ich połączenia z zewnętrznymi sieciami.

W celu wypełnienia tej luki Fire Protection Research Foundation, afiliat NFPA, rozpoczął badanie nad podatnością systemów przeciwpożarowych na zagrożenia cybernetyczne. Raport,

Purpose of the article

The purpose of this article is to analyse the security of systems integrating fire protection equipment, including the identification of threats and security gaps in these systems, and to develop recommendations for increasing the level of protection of these systems against terrorist attacks.

To achieve the above objective, it is necessary to find answers to the following research problems:

- What are the most common threats to systems integrating fire appliances in terms of reliability and cyber security?
- What security gaps can be identified in existing systems integrating fire protection equipment?
- What recommendations can be made to strengthen the protection of these systems against cyber attacks?

Methodology

The research methodology of this study is based on a comprehensive survey of the literature, existing standards and available reports on the cyber security of systems integrating fire protection devices (SIUP).

Document analysis and literature review methods were used to identify threats and vulnerabilities in these systems, as well as to compare current standards to determine the most effective security practices.

Fire alarm systems are considered fundamental building safety systems, reducing the likelihood of injury and loss of life, and limiting damage caused by fire, smoke and heat [13].

Design and installation must be carried out by qualified professionals who are certified and comply with the specific regulations and standards set out by the aforementioned organisations. Increasingly, fire alarm systems are being integrated with other building automation solutions and security systems to help minimise the effects of fire by facilitating evacuation and preventing the spread of fire [13].

Current research, however, does not encompass complete safety assessments of integrated fire protection systems. It mainly focuses on the development of more advanced and reliable solutions, such as automatic fire alarm systems using cyber-physical technologies that use various sensors to collect physical data and use them to control this system [14], the use of microcontrollers to monitor and remotely control fire protection components in nuclear power plants [15], and the development of intelligent fire detection systems, for educational facilities, that integrate a variety of sensors and communication technologies [16].

Although these studies show efforts to improve fire protection systems through integration and advanced technologies, the current state of knowledge does not provide a comprehensive safety assessment for fully integrated systems.

sponsorowany przez ASHE, Procter and Gamble oraz Telgian, zawiera przegląd norm, ocenę podatności i zagrożeń oraz strategie ich łagodzenia.

Cel artykułu

Celem artykułu jest analiza bezpieczeństwa systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe, z uwzględnieniem identyfikacji zagrożeń oraz luk w zabezpieczeniach tych systemów, a także opracowanie rekomendacji dotyczących zwiększenia poziomu ochrony tychże systemów przed atakami terrorystycznymi.

Aby osiągnąć powyższy cel, konieczne jest znalezienie odpowiedzi na następujące problemy badawcze:

- Jakie zagrożenia dla systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe w kontekście ich niezawodności i cyberbezpieczeństwa występują najczęściej?
- Jakie luki w zabezpieczeniach można zidentyfikować w istniejących systemach integrujących urządzenia przeciwpożarowe?
- Jakie rekomendacje można opracować w celu wzmocnienia ochrony tych systemów przed cyberatakami?

Metodologia

Metodologia badań niniejszego opracowania opiera się na kompleksowym przeglądzie literatury, istniejących standardów i dostępnych raportów dotyczących cyberbezpieczeństwa systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe.

Metody analizy dokumentów i literatury zostały wykorzystane do identyfikacji zagrożeń i słabych punktów w tych systemach, a także do porównania obecnych standardów w celu określenia najbardziej skutecznych praktyk bezpieczeństwa.

Systemy sygnalizacji pożaru są uważane za fundamentalne systemy bezpieczeństwa w budynkach, zmniejszające prawdopodobieństwo obrażeń, utraty życia i ograniczające szkody spowodowane przez ogień, dym i ciepło [13].

Projektowanie i czynności instalacyjne muszą być wykonywane przez wykwalifikowanych specjalistów, którzy posiadają odpowiednie certyfikaty. Powinny być zrealizowane zgodnie ze szczegółowymi przepisami i normami określonymi przez przywołane wcześniej organizacje. Coraz częściej systemy sygnalizacji pożaru są zintegrowane z innymi rozwiązaniami automatyki budynkowej i systemami bezpieczeństwa, co sprzyja minimalizowaniu skutków pożaru poprzez ułatwienie ewakuacji i zapobieganie rozprzestrzenianiu się ognia [13].

Aktualne badania nie przedstawiają jednak pełnych ocen bezpieczeństwa zintegrowanych systemów ochrony przeciwpożarowej. Skupiają się głównie na rozwijaniu bardziej zaawansowanych i niezawodnych rozwiązań, takich jak automatyczne systemy sygnalizacji pożaru wykorzystujące technologie cyberfizyczne, które zbierają dane fizyczne za pomocą różnych czujek i używają ich do sterowania tym systemem [14]. Powstają również opracowania poświęcone zastosowaniu mikrokontrolerów do monitorowania i zdalnego sterowania komponentami ochrony przeciwpożarowej w elektrowniach jądrowych [15], a także rozwojowi inteligentnych systemów wykrywania pożaru dla obiektów

Literature review and analysis of standards

The method used is to review existing norms, guidelines and standards for the cyber security of fire systems, particularly those that have been integrated with building management systems (BCS).

The analysis included the following documents:

- NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code – a key standard for alarm systems, including fire alarm systems. It provides guidance on cyber security, including hardware, software and physical security requirements [11].
- NIST 800-82 – Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security – guidelines for protecting industrial control systems, which includes fire systems. This standard provides security strategies for IT/OT networked systems, which are key to protecting SIUP [17].
- UL 2900-2-3 – Standard for Software Cybersecurity for Network-Connectable Products – Life Safety and Signaling Systems – standards for software security and network device security [18].

Analysis of research reports

The method involved analysing published reports, in particular research by the Fire Protection Research Foundation (FPRF) and other industry organisations that provide data on cyber threats to SIUP systems.

Based on the report *Cybersecurity for Fire Protection Systems* [12] the main risks associated with the integration of fire systems with external systems and potential security vulnerabilities that can be exploited by cybercriminals are identified. The document also includes the results of a workshop with industry experts, where the main risks were identified and appropriate strategies were proposed.

Results

Identification of risks

In order to understand the safety of systems integrating fire protection devices (SIUP), it is crucial to define the term hazard precisely. A threat refers to a situation or factor that has the potential to cause undesirable or negative events. In cyber security, a threat represents a potential danger to the digital infrastructure. Such incidents pose a serious risk to an organisation, potentially leading to financial and reputational losses [19].

edukacyjnych, które integrują różnorodne czujniki i technologie komunikacyjne [16].

Chociaż wspomniane badania pokazują wysiłki na rzecz ulepszenia systemów ochrony przeciwpożarowej poprzez integrację i zaawansowane technologie, obecny stan wiedzy nie zapewnia wszechstronnej oceny bezpieczeństwa dla w pełni zintegrowanych systemów.

Przegląd literatury i analiza norm

Zastosowana metoda polega na przeglądzie istniejących norm, wytycznych i standardów dotyczących cyberbezpieczeństwa systemów pożarowych, w szczególności tych, które zostały zintegrowane z systemami zarządzania budynkiem (BCS).

Analiza obejmowała następujące dokumenty:

- NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code – kluczowy standard dotyczący systemów alarmowych, w tym systemów sygnalizacji pożaru. Zawiera wytyczne dotyczące cyberbezpieczeństwa, w tym wymogi zabezpieczeń sprzętowych, programowych i fizycznych [11].
- NIST 800-82 – Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security – wytyczne dotyczące ochrony systemów sterowania przemysłowego, co obejmuje również systemy pożarowe. Standard ten zawiera strategię zabezpieczeń dla systemów podłączonych do sieci IT/OT, które są kluczowe dla ochrony SIUP [17].
- UL 2900-2-3 – Standard for Software Cybersecurity for Network-Connectable Products – Life Safety and Signaling Systems – standardy zabezpieczenia oprogramowania i bezpieczeństwa urządzeń sieciowych [18].

Analiza raportów badawczych

Metoda ta obejmowała analizę opublikowanych raportów, w szczególności badań prowadzonych przez Fire Protection Research Foundation (FPRF), oraz inne organizacje branżowe, które dostarczają danych na temat cyberzagrożeń w systemach SIUP.

Na podstawie raportu pt. *Cybersecurity for Fire Protection Systems* [12] zidentyfikowano główne zagrożenia związane z integracją systemów pożarowych z systemami zewnętrznymi oraz potencjalne luki w zabezpieczeniach, które mogą być wykorzystane przez cyberprzestępców. Dokument ten zawiera również wyniki warsztatów przeprowadzonych z udziałem ekspertów branżowych, gdzie zidentyfikowano główne zagrożenia i zaproponowano odpowiednie strategie.

Wyniki

Identyfikacja zagrożeń

W celu zrozumienia bezpieczeństwa systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe kluczowe jest precyzyjne zdefiniowanie pojęcia „zagrożenie”. Zagrożenie oznacza sytuację lub czynnik, który potencjalnie może wywołać zdarzenia niepożądane lub negatywne. W cyberbezpieczeństwie zagrożenie stanowi potencjalne niebezpieczeństwo dla infrastruktury cyfrowej. Takie incydenty stanowią poważne ryzyko dla organizacji, w postaci możliwych strat finansowych i utraty reputacji [19].

The network perimeter is a key element of the infrastructure, encompassing all points where the fire alarm system connects to other networks or systems and exchanges data with external devices. Connection points (system interfaces, connection points) are particularly vulnerable to attacks and are often a strategic target for malicious activity.

The first document, NFPA 72, is a standard that sets out guidelines for the design, installation, testing, maintenance and operation of fire alarm and alarm communication systems. It considers fire detection technologies, integration with building automation and procedures for regular testing and maintenance of systems.

In the 2022 edition, the scope has been expanded to include guidance on cyber security and remote access to systems. In the 2025 edition, Chapter 11 has been supplemented with specific requirements for the protection of fire alarm systems against cyber attacks, introducing three levels of protection [11]:

- SL1: for wired interfaces not using the Internet Protocol,
- SL2: for wireless interfaces not using the Internet Protocol and for wired and wireless Internet interfaces not connected to publicly accessible networks,
- SL3: for wired and wireless Internet interfaces connected to publicly accessible networks.

The second standard is UL 2900-2-3 on Software Cybersecurity for Networked Products – Part 2–3: *Detailed Requirements for Security Signaling and Life Safety Systems*, is a standard developed by Underwriters Laboratories (UL). The document defines tests, such as vulnerability analysis, penetration testing and risk assessment, to detect and address weaknesses in software and hardware. The standard covers three levels of security, from basic (L1) to advanced (L3), taking into account security management processes and the product lifecycle. It is a key element for manufacturers seeking to ensure their systems are highly resilient to cyber threats [18].

The most recent document is NIST Special Publication 800-82 Revision 3, *Guide to Operational Technology (OT) Security*, and provides detailed guidance on protecting operational technology (OT) such as industrial control systems, building automation and transportation. It extends coverage to OT in the broadest sense, including devices and physical systems connected to networks, taking into account current threats and vulnerabilities. It includes specific security profiles tailored to different levels of risk and integrates requirements from NIST SP 800-53 Rev. 5. The main objectives of the publication are to secure OT systems against cyber attacks, reduce operational risk and ensure business continuity in critical infrastructures [17].

The final report of the 2021 study distinguishes key cyber vulnerabilities of integrated systems, which includes six elements (see Figure 2):

Obwód sieci stanowi kluczowy element infrastruktury, obejmujący wszelkie punkty, w których system sygnalizacji pożaru łączy się z innymi sieciami lub systemami oraz wymienia dane z zewnętrznymi urządzeniami. Miejsca połączeń (interfejsy systemowe, punkty połączenia) cechują się szczególną podatnością na ataki i często stanowią strategiczny cel działań niepożądanych.

Pierwszy dokument – NFPA 72 – to standard określający wytyczne dotyczące projektowania, instalacji, testowania, konserwacji i eksploatacji systemów sygnalizacji pożarowej oraz komunikacji alarmowej. Uwzględnia technologie detekcji pożaru, integrację z automatyką budynkową, a także procedury regularnego testowania i utrzymania systemów.

W edycji z 2022 r. rozszerzono zakres o wytyczne dotyczące cyberbezpieczeństwa oraz zdalnego dostępu do systemów. W edycji z 2025 r. rozdział 11 uzupełniono o konkretne wymagania dotyczące ochrony systemów sygnalizacji pożarowej przed atakami cybernetycznymi, wprowadzając trzy poziomy zabezpieczeń [11]:

- SL1: dla przewodowych interfejsów niekorzystających z protokołu internetowego,
- SL2: dla bezprzewodowych interfejsów niekorzystających z protokołu internetowego oraz dla przewodowych i bezprzewodowych interfejsów internetowych niepołączonych z publicznie dostępnymi sieciami,
- SL3: dla przewodowych i bezprzewodowych interfejsów internetowych połączonych z publicznie dostępnymi sieciami.

Drugi standard – UL 2900-2-3 – dotyczy cyberbezpieczeństwa oprogramowania dla produktów podłączonych do sieci. Część 2–3: *Szczegółowe wymagania dla systemów sygnalizacji bezpieczeństwa i ochrony życia* to norma opracowana przez Underwriters Laboratories (UL). Dokument definiuje testy, takie jak analiza podatności, testy penetracyjne i ocena ryzyka, mające na celu wykrycie i eliminację słabości w oprogramowaniu i sprzęcie. Standard obejmuje trzy poziomy zabezpieczeń, od podstawowego (L1) do zaawansowanego (L3), z uwzględnieniem procesów zarządzania bezpieczeństwem i cyklu życia produktów. Jest kluczowym elementem dla producentów dążących do zapewnienia wysokiej odporności swoich systemów na zagrożenia cybernetyczne [18].

Ostatnim dokumentem jest NIST Special Publication 800-82 Revision 3, *Guide to Operational Technology (OT) Security*, który dostarcza szczegółowych wytycznych dotyczących ochrony technologii operacyjnych (OT), takich jak systemy sterowania przemysłowego, automatyka budynkowa i transport. Rozszerza zakres na szeroko pojęte OT, w tym urządzenia i systemy fizyczne połączone z sieciami, uwzględniając aktualne zagrożenia i podatności. Zawiera konkretne profile bezpieczeństwa dostosowane do różnych poziomów ryzyka oraz integruje wymagania z NIST SP 800-53 Rev. 5. Główne cele publikacji to zabezpieczenie systemów OT przed cyberatakami, redukcja ryzyka operacyjnego i zapewnienie ciągłości działania w krytycznych infrastrukturach [17].

W raporcie końcowym badań z 2021 r. wyróżnia się kluczowe podatności cybernetyczne systemów zintegrowanych, które obejmują sześć elementów (zob. ryc. 2).

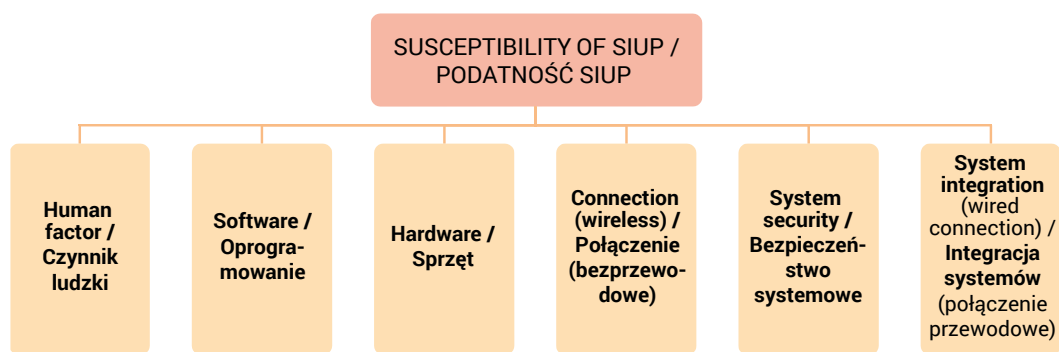


Figure 2. Vulnerable elements of systems integrating fire protection (SIUP)

Rycina 2. Elementy SIUP podatne na zagrożenia

Source: Own elaboration based on [17].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [17].

When it comes to the human element, the reliability of suppliers and technicians responsible for installing and maintaining systems is important. Failure to control access to systems, as well as the potential creation of “backdoors” by technicians or manufacturers, are significant risks. Additionally, the failure to change default passwords and the risk of malicious actions by rogue individuals (e.g. industrial espionage) increases the vulnerability of systems to unauthorised access and manipulation. As required by the NIS 2 Directive, key entities, including suppliers, should implement cyber security risk management mechanisms, including access control, supplier verification and elimination of default passwords. The directive emphasises multi-component authentication, regular audits and incident reporting to minimise the risk of malicious activity [26].

The software of fire protection systems also shows numerous vulnerabilities. Unchanged standard passwords and infrequent updates make these systems more vulnerable to attacks. A lack of adequate updates results in security vulnerabilities being left behind, which can be exploited by cybercriminals to take control of the system or disrupt its operation.

In the context of equipment, mobile devices that lack adequate physical security while accessing building management systems (BMS) or other systems are a significant problem. An additional risk factor is the failure to keep fire protection equipment up to date with the latest security features, which increases its vulnerability to cyberattacks.

Wireless connections represent another source of risk. Remote access codes allowing intervention in the system, such as in remote maintenance functions, can be intercepted by unauthorised persons. Furthermore, the connection of systems to open or unsecured networks, set up by technicians without proper IT oversight, creates the possibility of unauthorised access. Additionally, failure to update embedded software (e.g. in radio systems) can lead to network security breaches.

System security is vulnerable to security misconfigurations, which can result in open access to unauthorised individuals. In addition, these systems are susceptible to denial-of-service (DoS) attacks, which can disrupt their normal operation by overloading the network or blocking access.

Jeśli chodzi o element ludzki, istotne znaczenie ma wiarygodność dostawców oraz techników odpowiedzialnych za instalację i konserwację systemów. Niedopatrzności w zakresie kontroli dostępu do systemów, a także potencjalne tworzenie „tylnych drzwi” przez techników lub producentów stanowią istotne zagrożenie. Dodatkowo, brak zmiany domyślnych haseł oraz ryzyko szkodliwych działań ze strony nieuczciwych osób (np. szpiegostwo przemysłowe) zwiększa podatność systemów na nieautoryzowany dostęp i manipulację. Zgodnie z wymogami dyrektywy NIS2, podmioty kluczowe, w tym dostawcy, powinny wdrożyć mechanizmy zarządzania ryzykiem cyberbezpieczeństwa, obejmujące kontrolę dostępu, weryfikację dostawców oraz eliminację domyślnych haseł. Dyrektywa kładzie nacisk na wieloskładnikowe uwierzytelnianie, regularne audyty i zgłaszanie incydentów, aby minimalizować ryzyko działań szkodliwych [26].

Oprogramowanie systemów ochrony przeciwpożarowej również wykazuje liczne podatności. Niezmieniane standardowe hasła, rzadkie aktualizacje sprawiają, że systemy te są bardziej narażone na ataki. Brak odpowiednich aktualizacji skutkuje pozostawieniem luk bezpieczeństwa, które mogą być wykorzystane przez cyberprzestępców do przejęcia kontroli nad systemem lub zakłócenia jego funkcjonowania.

W kontekście sprzętu, istotnym problemem są urządzenia przenośne, które nie posiadają odpowiednich zabezpieczeń fizycznych i jednocześnie mają dostęp do systemów zarządzania budynkiem (BMS) lub innych systemów. Dodatkowym czynnikiem ryzyka jest brak bieżącej aktualizacji sprzętu ochrony przeciwpożarowej o najnowsze zabezpieczenia, co zwiększa jego podatność na ataki cybernetyczne.

Połączenia bezprzewodowe stanowią kolejne źródło zagrożeń. Zdalne kody dostępu umożliwiające interwencję w systemie (np. w zdalnych funkcjach konserwacji) mogą zostać przejęte przez osoby niepowołane. Ponadto, połączenie systemów z otwartymi lub niesekwestrowanymi sieciami, instalowanymi przez techników bez odpowiedniego nadzoru IT, stwarza możliwość nieuprawnionego dostępu. Dodatkowo, brak aktualizacji oprogramowania wbudowanego (np. w systemach radiowych) może prowadzić do naruszenia bezpieczeństwa sieci.

System integrations highlight additional risks arising from the inter-integration of life safety systems with other critical building systems. These interconnections mean that the compromise of one system can lead to the disruption to others, thus significantly increasing risk. The lack of adequate safeguards in gateways integrating fire systems with other building systems, the use of insecure protocols and the lack of separation between systems only compound the potential risks.

Internal cyber security threats to building and life safety systems are also a very important issue. These include:

- lack of training – low level of awareness of cyber threats;
- human factor – malicious actions or disgruntled employees; practices of third-party vendors that do not comply with cyber security policies, physical access to systems being gained by unauthorised individuals;
- invasion – introduction of software with a "backdoor", introduction of own private equipment into the network;
- the level of protection – access that is broader than required for the performance of duties (excessive access) or lack of adequate screening of contractors and their employees.

The third edition of *Protecting Against Terrorism* [20] highlights the different types of attacks that can threaten the security of systems. Among these are:

- Man-in-the-middle (MitM) attacks involving the interception of communications between system components by unauthorised individuals who can modify transmitted data. Such actions can trigger false alarms or block warning signals, compromising the effectiveness of the threat response.
- Remote code execution (RCE) – allows cybercriminals to take remote control of a system, enabling them to disable or modify its functions. The consequences of such an attack pose a direct threat to life and property, as they can prevent a security system from functioning properly.
- Radio frequency jamming (RF jamming) – fire protection systems often use radio data transmission between components. Radio frequency jamming attacks can block the transmission of key information in real time, leading to delays in evacuation or lack of alarm response.
- Physical intrusion – unauthorised access to control panels and alarm equipment through physical manipulation (e.g. direct access to control panels) can allow control of the fire protection system to be taken over. The lack of adequate physical safeguards, such as access control to vital components, significantly increases the risk of such incidents.

In areas where fire systems connect to IP networks or contain ports to connect external devices, the risk of unauthorised access increases, potentially leading to system disruption or damage with significant safety implications [12].

Bezpieczeństwo systemowe jest narażone na zagrożenia związane z niewłaściwą konfiguracją zabezpieczeń, co może skutkować otwarciem dostępu do osób nieautoryzowanych. Ponadto, systemy te są podatne na ataki typu Denial of Service (DoS), które mogą zakłócić ich normalne działanie poprzez przeciążenie sieci lub blokowanie dostępu.

Integracje systemów uwiadcniają dodatkowe ryzyka wynikające z połączenia systemów ochrony życia z innymi krytycznymi systemami budynkowymi. Połączenia te powodują, że naruszenie działania jednego systemu może prowadzić do zakłóceń w innych, co znacząco zwiększa ryzyko. Brak odpowiednich zabezpieczeń w bramkach integrujących systemy pożarowe z pozostałymi systemami budynkowymi, stosowanie niepewnych protokołów oraz brak separacji między systemami tylko potęgują potencjalne zagrożenia.

Bardzo istotną kwestią są również zagrożenia wewnętrzne cyberbezpieczeństwa dla systemów budynkowych i systemów bezpieczeństwa życia. Do nich zalicza się:

- brak szkoleń – niski poziom świadomości w zakresie zagrożeń cybernetycznych;
- czynnik ludzki – złośliwe działania lub niezadowoleni pracownicy; praktyki zewnętrznych dostawców, które są niezgodne z polityką bezpieczeństwa cybernetycznego, uzyskanie fizycznego dostępu do systemów przez nieautoryzowane osoby;
- inwazja – wprowadzenie oprogramowania z „tylnymi drzwiami”, wprowadzenie prywatnego własnego sprzętu do sieci;
- poziom ochrony – dostęp o szerszym zakresie niż wymagany do pełnienia obowiązków (nadmierny dostęp) czy brak odpowiedniego sprawdzenia kontrahentów i ich pracowników.

W trzecim wydaniu publikacji *Protecting Against Terrorism* [20] wyróżnione są różne rodzaje ataków, które mogą zagrozić bezpieczeństwu systemów. Wśród nich znajdują się:

- ataki typu *man-in-the-middle* (MitM) polegające na przechwytywaniu komunikacji pomiędzy elementami systemu przez osoby nieuprawnione, które mogą modyfikować przesyłane dane. Takie działania mogą wywoływać fałszywe alarmy lub blokować sygnały ostrzegawcze, co zagraża skuteczności reakcji na zagrożenie.
- Zdalne wykonanie kodu (ang. *remote code execution*, RCE) pozwala cyberprzestępcom na przejęcie zdalnej kontroli nad systemem, umożliwiając im jego wyłączenie lub modyfikację funkcji. Skutki takiego ataku stanowią bezpośrednie zagrożenie dla życia i mienia, ponieważ mogą zablokować właściwe działanie systemu ochrony.
- Zakłócanie częstotliwości radiowych (ang. *RF jamming*) – systemy ochrony przeciwpożarowej często wykorzystują radiową transmisję danych między komponentami. Ataki zakłócające częstotliwości radiowe mogą blokować przekazywanie kluczowych informacji w czasie rzeczywistym, co prowadzi do opóźnień w ewakuacji lub braku reakcji alarmowej.
- Fizyczne włamanie – nieautoryzowany dostęp do paneli kontrolnych i urządzeń alarmowych przez manipulację

Gaps in standards and security

Testing the vulnerability of systems integrating fire protection equipment to terrorist threats is an important part of ensuring the security of critical infrastructure. These systems, as part of critical facilities, can be potential targets for terrorist attacks, requiring a comprehensive approach to risk assessment and implementation of protective measures [21–22].

An interesting aspect is the use of the scenario method to assess terrorist threats to strategic facilities, including fire protection systems. It involves creating scenarios consisting of terrorist threat options and response plans for physical protection systems [21].

At the same time, research indicates that terrorist groups are increasingly interested in industrial control systems, which may also include fire protection systems [21]. A comprehensive approach to this issue is necessary to ensure effective protection of critical infrastructure against potential terrorist attacks [21–23].

The analyses of standards and cyber security reports carried out have revealed significant shortcomings in the security of fire protection systems. The most noticeable problems include the following areas [12]:

- cyber security rules – lack of consistent policies on key aspects of security, such as:
 - equipment inventory, network diagrams and system configurations,
 - authentication and password management,
 - assigning responsibility for system maintenance,
 - updating hardware, software and network connection documentation,
 - defining supply chain and technical support requirements,
 - requirements for the integration of external systems and subsystems,
 - development and maintenance of authentication processes.
- security functions – security requires constant monitoring and updating of security functions that protect systems from unauthorised access and other threats;
- integration and commissioning – all policies and procedures should be analysed and adapted after the integration of new systems;
- maintaining the desired level of security – software updates are not always deployed as soon as they are released, increasing the risk of security vulnerabilities;
- training for technical and non-technical staff – training is

fizyczną (np. bezpośredni dostęp do paneli sterujących) może umożliwić przejęcie kontroli nad systemem ochrony przeciwpożarowej. Brak odpowiednich zabezpieczeń fizycznych, takich jak kontrola dostępu do istotnych komponentów, znacznie zwiększa ryzyko takich incydentów.

W obszarach, gdzie systemy pożarowe łączą się z sieciami IP lub zawierają porty umożliwiające podłączenie zewnętrznych urządzeń, zwiększa się ryzyko nieautoryzowanego dostępu, który potencjalnie może prowadzić do zakłócenia pracy systemu lub uszkodzeń o istotnych skutkach dla bezpieczeństwa [12].

Luki w standardach i zabezpieczeniach

Badania podatności systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe na zagrożenia terrorystyczne są istotnym elementem zapewnienia bezpieczeństwa infrastruktury krytycznej. Systemy te, jako część kluczowych obiektów, mogą być potencjalnym celem ataków terrorystycznych, co wymaga kompleksowego podejścia do oceny ryzyka i wdrażania środków ochronnych [21–22].

Interesującym aspektem jest wykorzystanie metody scenariuszowej do oceny zagrożeń terrorystycznych dla obiektów strategicznych, w tym systemów przeciwpożarowych. Polega ona na tworzeniu scenariuszy składających się z wariantów zagrożeń terrorystycznych oraz planów reakcji systemów ochrony fizycznej [21].

Jednocześnie badania wskazują na rosnące zainteresowanie grup terrorystycznych systemami kontroli przemysłowej, co może obejmować również systemy przeciwpożarowe [21]. Kompleksowe podejście do tego zagadnienia jest niezbędne dla zapewnienia skutecznej ochrony infrastruktury krytycznej przed potencjalnymi atakami terrorystycznymi [21–23].

Przeprowadzone analizy norm oraz raportów dotyczących cyberbezpieczeństwa ujawniły istotne niedociągnięcia w zabezpieczeniach systemów ochrony przeciwpożarowej. Najbardziej zauważalne problemy obejmują następujące obszary [12]:

- zasady bezpieczeństwa cybernetycznego – brak spójnych polityk dotyczących kluczowych aspektów bezpieczeństwa, takich jak:
 - inwentaryzacja urządzeń, schematy sieci i konfiguracje systemu,
 - zarządzanie uwierzytelnianiem i hasłami,
 - przydzielanie odpowiedzialności za konserwację systemów,
 - aktualizacja dokumentacji sprzętu, oprogramowania i połączeń sieciowych,
 - określenie wymagań dotyczących łańcucha dostaw oraz wsparcia technicznego,
 - wymogi dotyczące integracji systemów zewnętrznych oraz podsystemów,
 - rozwój i utrzymanie procesów związanych z uwierzytelnianiem;
- funkcje bezpieczeństwa – bezpieczeństwo wymaga stałego monitorowania i aktualizacji funkcji ochronnych, które zabezpieczają systemy przed nieautoryzowanym dostępem oraz innymi zagrożeniami;
- integracja i uruchamianie – wszystkie zasady i procedury powinny być analizowane i dostosowywane po integracji nowych systemów;

essential for both technical staff and those responsible for management, administration and contracting;

- education and awareness – raising awareness of cyber security in the fire and life safety industry.

Fire systems manufacturer Honeywell has issued security patches for two serious vulnerabilities affecting the Internet server used in Notifier alarm systems. Gjoko Krstic, a researcher at Applied Risk, discovered that the NOTI-FIRE-NET server (NWS-3) has vulnerabilities that allow authentication bypass (CVE-2020-6972) and information disclosure (CVE-2020-6974) [24].

The NOTI-FIRE-NET interface allows several smart fire panels to be linked together on a single network, and a web server allows remote access to this network, providing insight into event history, device status and other information. It was discovered that an unauthorised attacker could access the control panel by manipulating the server response and changing the message from "FAILURE" to "SUCCESS" [23].

The second vulnerability relates to the predictable name of the database backup file, which contains sensitive data such as usernames and passwords. Downloading this file allows full access to the alarm system [24].

According to the Applied Risk report, these vulnerabilities are rated as medium to high, but the DHS (Department of Homeland Security) and CISA (Cybersecurity and Infrastructure Security Agency) agencies classify them as critical. Honeywell has released firmware update 4.51 to patch these vulnerabilities. The company also recommends isolating systems from the Internet, using VPNs for remote connections and setting strong passwords [24].

- utrzymanie pożądanego poziomu bezpieczeństwa
- aktualizacje oprogramowania nie zawsze są wdrażane natychmiast po ich wydaniu, co zwiększa ryzyko wystąpienia luk w zabezpieczeniach;
- szkolenia dla personelu technicznego i nietechnicznego
 - szkolenia są niezbędne zarówno dla pracowników technicznych, jak i dla osób odpowiedzialnych za zarządzanie, administrację oraz zawieranie kontraktów;
- edukacja i świadomość – zwiększenie świadomości w branży przeciwpożarowej i bezpieczeństwa życia w zakresie cyberbezpieczeństwa.

Producent systemów pożarowych Honeywell wydał poprawki zabezpieczające dla dwóch poważnych podatności dotyczących serwera internetowego używanego w systemach alarmowych Notifier. Gjoko Krstic, badacz z Applied Risk, odkrył, że serwer NOTI-FIRE-NET (NWS-3) posiada luki pozwalające na obejście autoryzacji (CVE-2020-6972) oraz ujawnienie informacji (CVE-2020-6974) [24].

Interfejs NOTI-FIRE-NET umożliwia łączenie kilku inteligentnych paneli przeciwpożarowych w jednej sieci, a serwer internetowy – dalny dostęp do tej sieci, dając wgląd w historię zdarzeń, status urządzeń i inne informacje. Odkryto, że nieautoryzowany atakujący może uzyskać dostęp do panelu administracyjnego, manipulując odpowiedzią serwera i zmieniając komunikat z „FAILURE” na „SUCCESS” [23].

Druga podatność dotyczy przewidywalnej nazwy pliku kopii zapasowej bazy danych, który zawiera wrażliwe dane, takie jak nazwy użytkowników i hasła. Pobranie tego pliku umożliwia pełny dostęp do systemu alarmowego [24].

Zgodnie z raportem Applied Risk, luki te oceniono jako średnie i wysokie, ale agencje DHS (ang. *Department of Homeland Security*, Departament Bezpieczeństwa Wewnętrznego) i CISA (ang. *Cybersecurity and Infrastructure Security Agency*, Agencja Cyberbezpieczeństwa i Bezpieczeństwa Infrastruktury) klasyfikują je jako krytyczne. Honeywell udostępnił aktualizację firmware'u 4.51, aby załatać te podatności. Firma zaleca także izolowanie systemów od internetu, korzystanie z VPN w przypadku zdalnych połączeń oraz ustawienie silnych haseł [24].

Recommendations

On the basis of the analyses carried out and in the light of current standards and regulations, it is crucial to implement a series of measures to ensure the highest levels of functional safety system safety and reliability.

First and foremost, absolute adherence to the requirements set out in EN IEC 61508 is essential. Adherence to these standards ensures that systems are designed and implemented in accordance with industry best practice, which has a significant impact on their reliability and efficiency. Defining and achieving an appropriate security integrity level through a thorough risk analysis will allow the requirements for equipment reliability, including the probability of on-demand failures and the level of system diagnostics, to be set precisely [25]. Implementing redundancy, self-monitoring and real-time failure monitoring mechanisms is

Rekomendacje

Na podstawie przeprowadzonych analiz oraz w świetle obowiązujących norm i przepisów kluczowe jest wdrożenie szeregu działań mających na celu zapewnienie najwyższego poziomu bezpieczeństwa i niezawodności systemów funkcjonalnego bezpieczeństwa.

Przede wszystkim niezbędne jest bezwzględne przestrzeganie wymagań określonych w normie PN-EN IEC 61508. Stosowanie się do tych standardów gwarantuje, że systemy są projektowane i realizowane zgodnie z najlepszymi praktykami branżowymi, co znacząco wpływa na ich niezawodność i efektywność. Określenie i osiągnięcie właściwego poziomu nienaruszalności bezpieczeństwa (SIL) poprzez dokładną analizę ryzyka pozwoli precyzyjnie ustalić wymagania dotyczące niezawodności sprzętu, w tym prawdopodobieństwa awarii na żądanie i poziomu

essential to minimise the risk of critical failures. In the case of SIUP, meeting these requirements directly increases the effectiveness of fire detection and response.

Based on the *Cybersecurity for Fire Protection Systems* report, the remaining recommendations are based on three issues:

- security configuration guides and best practices,
- guidelines and standards for systems hardening,
- default assumption of no trust in third parties.

The first area emphasises three critical aspects. First and foremost is ensuring that installers and maintenance personnel have access to appropriate guides and best practices for security configuration. It is also crucial to implement a training programme that not only conveys knowledge of procedures, but also explains the rationale behind particular processes. In addition, it is essential to employ specialists with diverse skills who have both technical and operational knowledge of the systems they work with.

As part of the guidelines and standards, the configuration of fire protection systems is required to comply with security standards that facilitate the adequate protection of workstations.

The final point about lack of trust draws attention to the fact that access to systems is controlled and protected and that documentation should be kept internally, without external systems. Likewise, it is imperative to ensure that the working environment of employees with remote access is secure.

In the US, strategies are also being recommended to increase the resilience of fire protection systems against cyber attacks. These strategies focus on five key areas: raising awareness of cyber threats, fostering dialogue and cross-sector collaboration, implementing best practices for cyber protection, updating security codes and standards, and developing education and training programmes [12].

The results clearly indicate the need for action at several levels:

1. Updating safety standards – existing standards need to be adapted to the changing risk landscape, particularly taking into account new risks arising from the integration of fire systems.
2. Training of technical staff – it is necessary to raise awareness of cyber threats among companies installing and operating SIUP systems. Technical staff should be adequately trained in cyber security best practices.
3. Further research – it was recommended that empirical research be continued, which will include testing SIUP systems in real-world conditions to better understand the effectiveness of the proposed safeguards.

In addition, it will be appropriate to conduct comprehensive security audits of existing SIUP systems to identify potential gaps and vulnerabilities. It is also necessary to develop cyber security incident response plans that take into account the specifics of fire systems and the potential consequences of their failure.

They also highlight the need for closer collaboration between SIUP system manufacturers, cyber security experts and emergency services to develop a holistic approach to protecting these critical systems.

It is also important to consider cyber security aspects from the design and implementation stage of new SIUP systems. This

diagnostyki systemu [25]. Wdrożenie mechanizmów redundancji, samokontroli oraz monitorowania awarii w czasie rzeczywistym jest niezbędne do minimalizacji ryzyka krytycznych uszkodzeń. W przypadku SIUP spełnienie tych wymagań bezpośrednio zwiększa skuteczność detekcji i reakcji na zagrożenia pożarowe.

W oparciu o raport pt. *Cybersecurity for Fire Protection Systems*, pozostałe rekomendacje opierają się na:

- przewodnikach dotyczących konfiguracji zabezpieczeń oraz najlepszych praktykach,
- wytycznych i standardach dotyczących hartowania systemów,
- domyślnym założeniu braku zaufania do stron trzecich.

Pierwszy obszar kładzie nacisk na trzy krytyczne aspekty. Przede wszystkim jest to zapewnienie instalatorom i konserwatorom dostępu do odpowiednich przewodników oraz najlepszych praktyk w zakresie konfiguracji zabezpieczeń. Kluczowe jest również wdrożenie programu szkoleń, który nie tylko przekazuje wiedzę o procedurach, ale również podaje uzasadnienie poszczególnych procesów. Ponadto niezbędne jest zatrudnianie specjalistów o zróżnicowanych umiejętnościach, którzy posiadają zarówno wiedzę techniczną, jak i operacyjną na temat systemów, z którymi pracują.

W ramach wytycznych i standardów wymaga się, aby konfiguracja systemów ochrony przeciwpożarowej była zgodna ze standardami bezpieczeństwa, które ułatwiają odpowiednie zabezpieczenie stacji roboczych.

Ostatni punkt dotyczący braku zaufania zwraca uwagę na to, iż dostęp do systemów jest kontrolowany i chroniony, a dokumentacja powinna być przechowywana w sposób wewnętrzny, bez udziału zewnętrznych systemów. Należy upewnić się, że środowisko pracy pracowników posiadających zdalny dostęp jest zabezpieczone.

W Stanach Zjednoczonych rekomenduje się również strategie mające na celu zwiększenie odporności systemów ochrony przeciwpożarowej na cyberataki. Strategie te koncentrują się na pięciu kluczowych obszarach: podnoszeniu świadomości o zagrożeniach cybernetycznych, wspieraniu dialogu i współpracy międzysektorowej, wdrażaniu najlepszych praktyk w zakresie ochrony przed cyberzagrożeniami, aktualizacji kodeksów i norm bezpieczeństwa oraz rozwoju programów edukacyjnych i szkoleniowych [12].

Wyniki jednoznacznie wskazują na konieczność podjęcia działań na kilku poziomach:

1. Aktualizacja standardów bezpieczeństwa – należy dostosować istniejące normy do zmieniającego się krajobrazu zagrożeń, w szczególności uwzględniając nowe zagrożenia wynikające z integracji systemów pożarowych.
2. Szkolenie personelu technicznego – konieczne jest zwiększenie świadomości zagrożeń cybernetycznych wśród firm instalujących i obsługujących systemy SIUP. Personel techniczny powinien być odpowiednio przeszkolony w zakresie najlepszych praktyk dotyczących cyberbezpieczeństwa.
3. Dalsze badania – zarekomendowano kontynuowanie badań empirycznych, które obejmą testowanie SIUP w rzeczywistych warunkach, aby lepiej zrozumieć skuteczność proponowanych zabezpieczeń.

approach should become the industry standard, ensuring that security is an integral part of the system and not an add-on introduced after the fact.

In addition, the recommendations mention the creation of a central centre for the exchange of information on threats and cyber security incidents specific to SIUP systems. Such a centre could serve as a platform for quickly responding to new threats and sharing experiences in neutralising them.

Ponadto stosowne będzie przeprowadzenie kompleksowych audytów bezpieczeństwa istniejących SIUP w celu identyfikacji potencjalnych luk i słabości. Konieczne jest również opracowanie planów reagowania na incydenty cyberbezpieczeństwa, które uwzględniałyby specyfikę systemów pożarowych i potencjalne skutki ich awarii.

Podkreśla się w tym miejscu również konieczność nawiązania ściślejszej współpracy między producentami SIUP, ekspertami ds. cyberbezpieczeństwa i służbami ratowniczymi w celu wypracowania holistycznego podejścia do ochrony tych krytycznych systemów.

Istotne jest także uwzględnienie aspektów cyberbezpieczeństwa już na etapie projektowania i wdrażania nowych SIUP. Taki podejście powinno stać się standardem w branży, dzięki czemu zabezpieczenia staną się integralną częścią systemu, a nie dodatkiem wprowadzanym po fakcie.

Dodatkowo zalecenia mówią o utworzeniu centralnego ośrodka wymiany informacji o zagrożeniach i incydentach cyberbezpieczeństwa specyficznych dla SIUP. Taki ośrodek mógłby służyć jako platforma do szybkiego reagowania na nowe zagrożenia i dzielenia się doświadczeniami w zakresie ich neutralizacji.

Recommendations for Poland

Another key finding is the lack of adequate legal regulations in Poland that directly address the problem of the cyber security of fire protection systems. Unlike other countries, where there are detailed regulations for securing fire protection systems, Poland does not have comprehensive regulations or standards that would mandate the implementation of advanced cyber security measures in fire systems.

Systems integrating fire protection devices, by their very nature, are installed for security in critical infrastructure facilities. Thus, they should also be subject to the Critical Infrastructure Act and the aforementioned NIS 2 Directive. The NIS 2 Directive imposes cyber security obligations, meaning that SIUP systems must be secured against both physical and digital threats. The Critical Infrastructure Act, on the other hand, requires these systems to be designed and maintained to the highest standards of reliability and security, such as those set out in EN IEC 61508. Meeting these requirements is not only a legal obligation, but also crucial to ensuring effective detection and response to fire threats. Regular audits and updates to the SIUP are essential to maintain regulatory compliance and to minimise the risk of failure.

Current regulations mainly focus on the technical aspects of fire systems, such as the installation and operation of alarm systems, but there are no uniform rules governing the network and cyber security of these systems.

In the new *Guidelines for the design, installation, commissioning, operation and maintenance of systems integrating fire protection equipment*, security issues are presented in general terms. According to them, it is advisable to implement redundancy mechanisms and to secure systems against physical and cyber threats, thus minimising the risk of disruption. SIUPs should operate in accordance with international standards such as ISO 27002, which

Rekomendacje dla Polski

Kolejnym kluczowym wnioskiem jest brak w Polsce odpowiednich regulacji prawnych, które bezpośrednio odnoszą się do problemu cyberbezpieczeństwa systemów ochrony przeciwpożarowej. W przeciwieństwie do innych krajów, gdzie istnieją szczegółowe regulacje dotyczące zabezpieczania systemów przeciwpożarowych, w naszym kraju nie ma kompleksowych przepisów ani standardów, które nakładałyby obowiązek implementacji zaawansowanych środków cyberbezpieczeństwa w systemach pożarowych.

Systemy integrujące urządzenia przeciwpożarowe ze względu na swoją specyfikę są montowane dla bezpieczeństwa w obiektach infrastruktury krytycznej. Zatem powinny podlegać również ustawie o infrastrukturze krytycznej oraz wspomnianej wcześniej dyrektywie NIS 2. Dyrektywa NIS 2 nakłada obowiązki w zakresie cyberbezpieczeństwa, co oznacza, że SIUP powinny być zabezpieczone zarówno przed zagrożeniami fizycznymi, jak i cyfrowymi. Natomiast ustawa o infrastrukturze krytycznej wymaga, aby systemy te były projektowane i utrzymywane zgodnie z najwyższymi standardami niezawodności i bezpieczeństwa, takimi jak określone w normie PN-EN IEC 61508. Spełnienie tych wymagań jest nie tylko obowiązkiem prawnym, ale także kluczowym dla zapewnienia skutecznej detekcji i reakcji na zagrożenia pożarowe. Regularne audyty i aktualizacje SIUP są niezbędne dla utrzymania zgodności z przepisami oraz dla minimalizacji ryzyka awarii.

Obecne przepisy koncentrują się głównie na technicznych aspektach działania systemów pożarowych, takich jak montaż i eksploatacja systemów alarmowych, ale brak jest jednolitych przepisów regulujących kwestie zabezpieczeń sieciowych i cybernetycznych tych systemów.

W nowych *Wytycznych projektowania, instalowania, uruchamiania, obsługi i konserwacji systemów integrujących urządzenia*

guarantees the integrity and security of transmitted data while protecting access to critical infrastructure [26]. It is essential to equip the systems with independent sources of emergency power to enable them to function in the event of a power failure, as well as to implement real-time monitoring and protection functions. In addition, access to the systems must be adequately secured through multi-level user authorisation and control.

However, due to the nature of the document, guidelines are a supporting tool to facilitate compliance with statutory requirements or good practice, but unfortunately they are not in themselves binding and their use is not mandatory. This loophole poses a serious threat to the security of buildings equipped with SIUP. It makes these systems vulnerable to potential cyber attacks. The lack of adequate legal protection means that the fire safety systems in these buildings could be breached by malicious actors, potentially threatening the safety of occupants and the integrity of the structures themselves.

It is therefore necessary to urgently develop and implement comprehensive legal regulations that would take into account the specificity of the cyber security of fire protection systems in Poland. Such regulations should cover not only technical but also organisational and procedural aspects, ensuring a holistic approach to the problem. These regulations must be flexible enough to keep up with the rapidly changing landscape of cyber threats.

Limitations and future research

The main limitations of this study are that it is based on an analysis of literature and reports, without direct testing of SIUPs. The results are based on the available data, which may not cover all aspects of the risks, especially in terms of emerging technologies. The lack of direct empirical testing means that future research is needed. Such research should focus on conducting practical tests of SIUPs in controlled environments to verify theoretical assumptions and identify potential security vulnerabilities. It is also important to broaden the scope of research to include an analysis of new threats related to rapidly developing technologies that may affect the security of SIUP.

In addition, it is necessary to develop standardised methods to assess and compare the effectiveness of different security solutions, enabling a more precise definition of best practices in the protection of SIUP systems.

This standardisation should cover not only technical aspects, but also organisational and legal procedures. It is worth considering the creation of an international cooperation framework for the exchange of threat information and best practices, which will contribute to increasing the overall security level of SIUPs worldwide.

przeciwpożarowe kwestie bezpieczeństwa przedstawione są w sposób ogólny. Zgodnie z nimi wskazane jest wdrożenie mechanizmów redundancji oraz zabezpieczenie systemów przed zagrożeniami fizycznymi i cybernetycznymi, co pozwala na minimalizację ryzyka zakłóceń. SIUP powinny działać zgodnie z międzynarodowymi normami, takimi jak ISO 27002, co gwarantuje integralność i bezpieczeństwo przesyłanych danych, jednocześnie chroniąc dostęp do infrastruktury krytycznej [26]. Istotne jest wyposażenie systemów w niezależne źródła zasilania awaryjnego, które umożliwiają ich funkcjonowanie w przypadku zaniku napięcia, a także realizacja funkcji monitorowania i ochrony w czasie rzeczywistym. Dodatkowo dostęp do systemów musi być odpowiednio zabezpieczony przez wielopoziomową autoryzację i kontrolę użytkowników.

Jednak ze względu na charakter dokumentu wytyczne są narzędziem pomocniczym, ułatwiającym spełnianie wymagań ustawowych lub stosowanie dobrych praktyk. Niestety same w sobie nie mają charakteru wiążącego i ich wdrażanie nie jest obligatoryjne. Ta luka prawna stanowi poważne zagrożenie dla bezpieczeństwa budynków wyposażonych w SIUP. Sprawia ona, że systemy te są podatne na potencjalne cyberataki. Brak odpowiedniej ochrony prawnej oznacza, że systemy bezpieczeństwa pożarowego w tych budynkach mogą zostać naruszone przez złośliwe podmioty, potencjalnie zagrażając bezpieczeństwu mieszkańców i integralności samych konstrukcji.

Konieczne jest zatem pilne opracowanie i wdrożenie kompleksowych regulacji prawnych, które uwzględniłyby specyfikę cyberbezpieczeństwa systemów ochrony przeciwpożarowej w Polsce. Takie przepisy powinny obejmować nie tylko aspekty techniczne, ale także organizacyjne i proceduralne, zapewniając holistyczne podejście do problemu. Regulacje te muszą być na tyle elastyczne, aby mogły nadążać za szybko zmieniającym się krajobrazem zagrożeń cybernetycznych.

Ograniczenia i przyszłe badania

Główne ograniczenia niniejszych badań wynikają z tego, że są one oparte na analizie literatury i raportów, bez bezpośredniego testowania SIUP. Wyniki bazują na dostępnych danych, które mogą nie obejmować wszystkich aspektów zagrożeń, szczególnie w przypadku nowo pojawiających się technologii. Brak bezpośrednich testów empirycznych oznacza konieczność przyszłych badań. Takie badania powinny skupić się na przeprowadzeniu praktycznych testów SIUP w kontrolowanych środowiskach, aby zweryfikować teoretyczne założenia i zidentyfikować potencjalne luki w zabezpieczeniach. Istotne jest również rozszerzenie zakresu badań o analizę nowych zagrożeń związanych z dynamicznie rozwijającymi się technologiami, które mogą wpływać na bezpieczeństwo SIUP.

Ponadto konieczne jest opracowanie standardowych metod oceny i porównywania skuteczności różnych rozwiązań zabezpieczających, co umożliwiłoby bardziej precyzyjne określenie najlepszych praktyk w dziedzinie ochrony SIUP.

Standaryzacja ta powinna obejmować nie tylko aspekty techniczne, ale również procedury organizacyjne i prawne. Warto rozważyć stworzenie międzynarodowych ram współpracy w zakresie

Future research should also focus on the human factors aspect of SIUP security. This includes analysing methods for training personnel operating the systems, developing effective incident response procedures and investigating psychological aspects of user behaviour that may affect the security of the systems.

wymiany informacji o zagrożeniach i najlepszych praktykach, co przyczyni się do podniesienia ogólnego poziomu bezpieczeństwa SIUP na całym świecie.

W ramach przyszłych badań należy także skupić się na aspektach związanych z czynnikiem ludzkim w kontekście bezpieczeństwa SIUP. Powinny objąć analizę metod szkolenia personelu obsługującego systemy, opracowanie skutecznych procedur reagowania na incydenty oraz badanie psychologicznych aspektów zachowań użytkowników, które mogą wpływać na bezpieczeństwo systemów.

Literature / Literatura

- [1] Stępkowski R., *Integracja systemów bezpieczeństwa w budynkach wysokich i wysokościowych. Wpływ na ochronę przeciwpożarową obiektu*, <https://ela.pl/wp-content/uploads/2019/09/Ryszard-St%C4%99pkowski-wyk%C5%82ad-2.pdf> [dostęp: 31.10.2024].
- [2] Kunecki K., *Zintegrowany system bezpieczeństwa pożarowego w: Materiały pokonferencyjne z Ogólnopolskich Dni Ochrony Przeciwpożarowej w dniach 9–10.10.2024.*
- [3] *Wytyczne projektowania, instalowania, uruchamiania, obsługi i konserwacji systemów integrujących urządzenia przeciwpożarowe CNBOP-PIB W-0007:2024* (wyd. 2 rozszerzone, listopad 2024) SITP WP-05:2024.
- [4] *Wytyczne projektowania pomieszczenia i miejsca obsługi urządzeń przeciwpożarowych w budynkach. Lokalizacja, warunki wykonania, wyposażenie CNBOP-PIB W-0001:2014* wydanie 3 rozszerzone, grudzień 2023.
- [5] NFPA 4 – Standard for Integrated Fire Protection and Life Safety System Testing.
- [6] PN-EN 54-13: Systemy sygnalizacji pożarowej – Część 13: Ocena kompatybilności możliwości przyłączenia podzespołów systemu.
- [7] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. 2024, poz. 275, 1222).
- [8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz.U. 2010 Nr 109, poz. 719).
- [9] Zapala R., *System integrujący urządzenia przeciwpożarowe w systemach kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła. Praktyczne aspekty sterowania, zasilania i integracji*, „Rynek Instalacyjny” 2020, 5, <https://www.rynekinstalacyjny.pl/artikul/systemy-ppoz/43379,system-integrujacy-urzadzenia-przeciwpozarowe-w-systemach-kontroli-rozprzestrzeniania-dymu-i-ciepła-praktyczne-aspekty-sterowania-zasilania-i-integracji> [dostęp: 30.10.2024].
- [10] Hutchison V., Brackett J., *Cybersecurity and fire protection*, May 13, 2021, PE, SASHE, CHFM, <https://www.hfmmagazine.com/articles/4177-cybersecurity-and-fire-protection> [dostęp: 30.10.2024].
- [11] NFPA 72 – National Fire Alarm and Signaling Code.
- [12] Chevreux J., Owen P., Donaldson K., Bright K., Largen A., Meiselman D., Kirsanova K., Borinski M., Uribe A., *Cybersecurity for Fire Protection Systems, Final Report*, M.C. Dean, Inc. Tysons, VA, USA, JesResearch fundation, REsearch for the NFPA Mission, September 2021.
- [13] Sinopoli J., *Chapter 9 – Fire Alarm and Mass Notification Systems*, in: *Smart Buildings Systems for Architects, Owners and Builders*, Elsevier, Oxford 2010.
- [14] Shulga T., Nikulina Yu., *Decision Support System for Fire Alarm Design*, w: *Society 5.0: Human-Centered Society Challenges and Solutions*, A. Kravets, A. Alexander, M.Sh. Bolshakov, M. Shcherbakov, https://doi.org/10.1007/978-3-030-95112-2_33, Springer International Publishing, 2022, 407–416.
- [15] Behera R.P., Murali N., Satya Murty S.A.V., *Development of Tele-Alarm and Fire Protection system using Remote Terminal Unit for Nuclear Power Plant*, w: *International Conference on Robotics, Automation, Control and Embedded Systems (RACE) 2015*, <https://doi.org/10.1109/RACE.2015.7097289>.
- [16] Dasig D.D., *Design and in Prototype Implementation of Fire Detection and Intelligent Alarm System*, *Proc. of the Intl. Conf. on Advances in Computing, Control and Networking – ACCN*, Institute of Research Engineers and Doctors, USA 2015.
- [17] NIST 800-82 – Guide to Industrial Control Systems (ICS) Security.
- [18] UL 2900-2-3 – Standard for Software Cybersecurity for Network-Connectable Products – Life Safety and Signaling Systems.
- [19] D'Ambrosio N., Perrone G., Romano S.P., *Including insider threats into risk management through Bayesian threat graph networks*, *Computers & Security* 2023, 103410, <https://doi.org/10.1016/j.cose.2023.103410>.
- [20] *Protecting Against Terrorism Third Edition*, Centre for the Protection of National Infrastructure.
- [21] Azarenko O., Shevchenko R., Diviziniuk M., Shevchenko O., Honcharenko Yu., *Methods of assessing terrorist threats to strategic facilities of the state*, *Critical Infrastructure Security and Industrial Control Systems*, 2023.

- [22] Theodora L., *Critical Infrastructure Security and Industrial Control Systems*, Social Science Research Network, 2010, <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.1692827>.
- [23] Shvetsov A.V., Shvetsov M.A., Gromov V.N., Balalaev A.S., Shvetsova S.V., Sharov V.A., Kozyrev V. A., *Trends of Modern Terrorism in the Metro Systems of the World*, "European Journal for Security Research", 2018, 1, 149–156, <https://doi.org/10.1007/s41125-018-0037-9>.
- [24] Kovacs E., *Vulnerabilities Allow Hackers to Access Honeywell Fire Alarm Systems*, February 24, 2020 <https://www.securityweek.com/vulnerabilities-allow-hackers-access-honeywell-fire-alarm-systems/> [dostęp: 30.10.2024].
- [25] PN-EN 61508: Bezpieczeństwo funkcjonalne układów sterowania
- [26] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2555 w sprawie środków na rzecz wysokiego wspólnego poziomu cyberbezpieczeństwa na terytorium Unii, zmieniająca rozporządzenie (UE) nr 910/2014 i dyrektywę (UE) 2018/1972 oraz uchylającą dyrektywę (UE) 2016/1148.

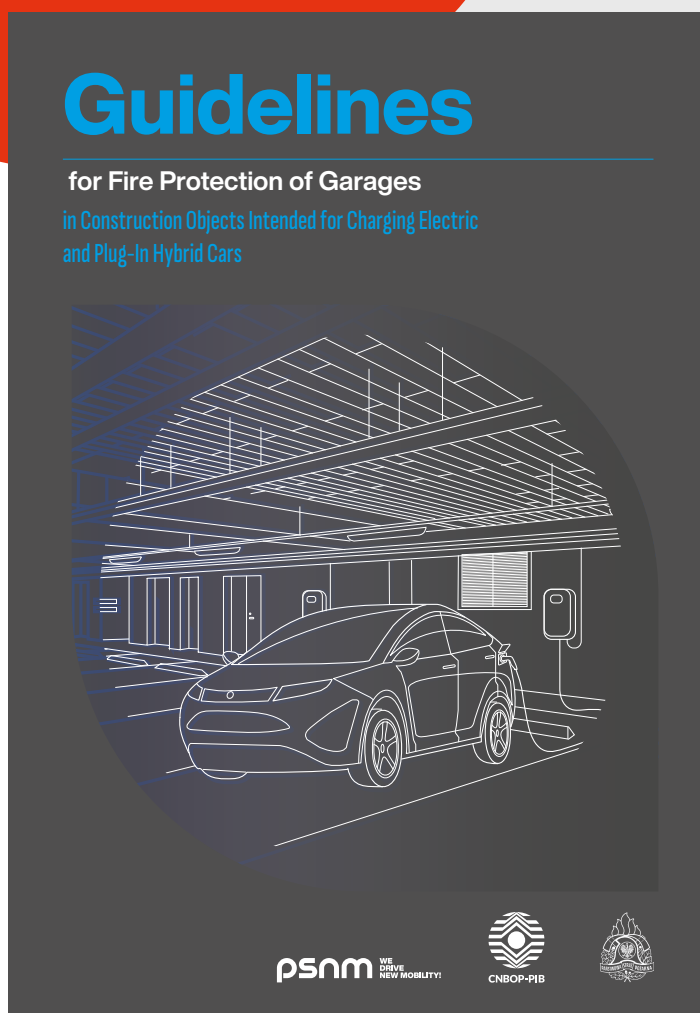
WOJCIECH WRÓBLEWSKI, PH.D. – an assistant professor at the Fire University's Institute of Internal Security where holds the position of the Head of Postgraduate Studies on Managing Cybersecurity in the Public Sector. He conducts research on public security, civil protection, humanitarian aid and contemporary threats such as hybrid warfare, cybersecurity, terrorist threats and counterterrorism systems. He is also working on the use of artificial intelligence in civil protection and emergency management. Author of numerous scientific publications analysing the threats and challenges of homeland security and security engineering.

DOROTA SELIGA – a master's student in safety engineering at the Fire University. She completed engineering studies in fire safety at the Main School of Fire Service and bachelor's studies in internal security at the Cardinal Stefan Wyszyński University. She works at DEKK Fire Solutions, a company dealing with active fire protection, gaining experience in designing and implementing security solutions. She is a member of the Management Board of the District Branch of the Association of Volunteer Fire Brigades of the Republic of Poland in Piasieczno, where she is involved in fire safety activities. She constantly expands her knowledge through industry training and participation in conferences devoted to modern security technologies.

DR WOJCIECH WRÓBLEWSKI – adiunkt w Instytucie Bezpieczeństwa Wewnętrznego Akademii Pożarniczej, gdzie pełni funkcję Kierownika Studiów Podyplomowych – Zarządzanie Cyberbezpieczeństwem w Sektorze Publicznym. Prowadzi badania w zakresie bezpieczeństwa publicznego, ochrony ludności, pomocy humanitarnej oraz współczesnych zagrożeń, takich jak wojna hybrydowa, cyberbezpieczeństwo, zagrożenia terrorystyczne i systemy antyterrorystyczne. Pracuje również nad wykorzystaniem sztucznej inteligencji w ochronie ludności i zarządzaniu kryzysowym. Jest autorem licznych publikacji naukowych analizujących zagrożenia i wyzwania związane z bezpieczeństwem wewnętrznym i inżynierią bezpieczeństwa.

DOROTA SELIGA – studentka studiów magisterskich na kierunku inżynieria bezpieczeństwa w Akademii Pożarniczej. Ukończyła studia inżynierskie na kierunku bezpieczeństwo pożarowe w Szkole Głównej Służby Pożarniczej oraz studia licencjackie na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne na Uniwersytecie Kardynała Stefana Wyszyńskiego. Pracuje w firmie DEKK Fire Solutions zajmującej się aktywną ochroną przeciwpożarową, zdobywając doświadczenie w projektowaniu i wdrażaniu rozwiązań bezpieczeństwa. Jest członkiem Zarządu Oddziału Powiatowego Związku Ochotniczych Straży Pożarnych RP w Piasiecznie, gdzie angażuje się w działania na rzecz bezpieczeństwa pożarowego. Stale poszerza swoją wiedzę poprzez szkolenia branżowe oraz udział w konferencjach poświęconych nowoczesnym technologiom bezpieczeństwa.

Nowości Wydawnicze CNBOP-PIB



SKLEP
<https://online.cnbop.pl>

Robert Śliwiński^{a)*}

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

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

Condensed Aerosol Generators in Fire Safety of Buildings. Part 1 – Analysis of Normative and Legal Documents

Generatory skondensowanego aerozolu w ochronie przeciwpowozarowej obiektów budowlanych. Część 1 – analiza dokumentów normatywnych i prawnych

ABSTRACT

Purpose: The aim of this paper is to present the construction and principle of operation of condensed aerosol generators, as well as a review of their selected characteristics, confirmed in the process of assessment and verification of constancy of performance. The paper describes selected laboratory tests, including those specific to Group A, B and C fires.

Introduction: Fixed firefighting systems, in addition to detection systems (fire alarm system) and alarm systems (voice evacuation systems), are one of the pillars of the safety of today's erected, increasingly complex buildings. However, unlike these detection and alarm systems, fire extinguishing systems based on condensed aerosol generators focus on providing an adequate level of protection for property, as they are dedicated to spaces that are not normally occupied. For this reason, emphasis is placed on the reliability of the generators, whose only task is to trigger appropriately at a specific time and fill the protected area with aerosol.

Methodology: The theoretical research, such as analysis of literature and legal documents, synthesis, generalisation, inference, comparison and analogy, was used in the development of the paper. A review of selected characteristics validated in the process of assessment and verification of constancy of performance of the analysed products was carried out. Research processes relating to selected parameters of the generators and inherent in the conformity assessment of construction products are presented.

Conclusions: It should be noted that, irrespective of their main purpose, condensed aerosol generators, which are a key component of aerosol fire extinguishing kits, can be crucial not only with regard to the safety of the buildings themselves, but also of their users, influencing the containment of a fire in the extinguishing zone where they are installed. Also, important is the awareness of owners and managers of building structures equipped with condensed aerosol generators. Their particular attention should be directed to the specifics of the generator itself and their knowledge of its operating principles. In the next stages of the work, it will be crucial to define the basics related to the connection of the generators to the installation forming a fixed firefighting system, to identify and describe issues related to design, installation and maintenance, and to identify the risks related to the potential exposure of the users of built structures to the extinguishing aerosol.

Keywords: firefighting, condensed aerosol generators, aerosol extinguishing kits, extinguishing agents

Type of article: review article

Received: 22.10.2024; Reviewed: 16.12.2024; Accepted: 22.12.2024;

Author's ORCID ID: R. Śliwiński – 0000-0002-7309-1332;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 102–126, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.7>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem pracy jest przedstawienie budowy i zasady działania generatorów skondensowanego aerozolu, a także przegląd ich wybranych cech, potwierdzonych w procesie oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych. W artykule opisano wybrane badania laboratoryjne, w tym właściwe dla powozarów grupy A, B oraz C.

Wprowadzenie: Stałe urządzenia gaśnicze, obok systemów detekcji (system sygnalizacji powozarowej) i alarmowania (dźwiękowe systemy ostrzegawcze), stanowią jeden z filarów bezpieczeństwa wznoszonych współcześnie, coraz bardziej skomplikowanych obiektów budowlanych. W odróżnieniu jednak od wymienionych systemów detekcji i alarmowania instalacje gaśnicze oparte na generatorach skondensowanego aerozolu skupiają się na zapewnieniu odpowiedniego poziomu zabezpieczenia mienia, gdyż dedykowane są przestrzeniom, w których w normalnych warunkach użytkowania nie przebywają

ludzie. Z tego powodu nacisk kładzie się na niezawodność generatorów, których jedynym zadaniem jest odpowiednie zadziałanie w określonym czasie i wypełnienie chronionej strefy aerozolem.

Metodologia: W ramach pracy nad artykułem wykorzystano badania teoretyczne, takie jak: analiza literatury i dokumentów prawnych, synteza, uogólnianie, wnioskowanie, porównanie oraz analogia. Dokonano przeglądu wybranych cech potwierdzanych w procesie oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych analizowanych wyrobów. Przedstawiono procesy badawcze odnoszące się do wybranych parametrów generatorów oraz będące nieodłącznym elementem oceny zgodności wyrobów budowlanych.

Wnioski: Należy zaznaczyć, że niezależnie od ich głównego przeznaczenia generatory skondensowanego aerozolu, będące kluczowym podzespołem aerozolowych zestawów gaśniczych, mogą mieć zasadnicze znaczenie nie tylko w odniesieniu do bezpieczeństwa samych obiektów budowlanych, ale również ich użytkowników, wpływając na zatrzymanie pożaru w strefie gaszenia, w której je zainstalowano. Nie mniej istotna jest świadomość właścicieli i zarządców obiektów budowlanych wyposażonych w generatory skondensowanego aerozolu. Ich szczególna uwaga powinna być skierowana na specyfikę działania samego generatora oraz znajomość zasad jego działania. Na dalszych etapach prac kluczowe będzie określenie podstaw związanych z połączeniem generatorów z instalacją tworzącą stałe urządzenie gaśnicze, określenie i opisanie zagadnień związanych z projektowaniem, instalowaniem i konserwacją oraz określenie zagrożeń związanych z potencjalnym narażeniem użytkowników obiektów budowlanych na aerozol gaśniczy.

Słowa kluczowe: gaszenie pożarów, generatory skondensowanego aerozolu, aerozolowe zestawy gaśnicze, środki gaśnicze

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 22.10.2024; **Zrecenzowany:** 16.12.2024; **Zaakceptowany:** 22.12.2024;

Identyfikator ORCID autora: R. Śliwiński – 0000-0002-7309-1332;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 102–126, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.7>;

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

Introduction

“The Montreal Protocol is a model example of cooperation. It is the result of the recognition and international consensus that ozone depletion is a global problem, both in terms of causes and effects. The Protocol is the result of a remarkable process of scientific research, negotiations between representatives of the business and environmental communities and international diplomacy. It is a monumental achievement” [1].

President Ronald Reagan
1988

With the above words, President Ronald Regan summed up the signing of the Montreal Protocol. This was the beginning of the phase-out of halon – due to its contribution to ozone depletion – despite the fact that this gas was (and is) one of the more effective firefighting gases. Halon 1211 was commonly used in portable fire extinguishers, while halon 1301 was used in fixed firefighting systems.

Halons are fully halogenated chemical compounds that have a relatively long life in the atmosphere. They decompose in the stratosphere, resulting in the release of reactive bromine, which is extremely harmful to ozone. It is estimated that chemical reactions involving bromine account for a quarter of all reactions responsible for ozone destruction over Antarctica and half of the harmful reactions occurring over the Arctic. The ozone-depletion potential of halons is up to 10 times greater than that of chlorofluorocarbons (CFC). As such, halons are very aggressive ozone-depleting chemicals. One kilogram of halon 1211 can destroy 50 tonnes of ozone [2].

One consequence of the halon phase-out has been the search for other equally effective fire-fighting methods. One of these is the use of firefighting aerosols and the generators used to disperse them into the protected space. This review introduces the key features of condensed aerosol (fire) extinguishing systems

Wstęp

„Protokół montrealski jest modelowym przykładem współpracy. Jest wynikiem uznania i międzynarodowego konsensusu, że zubożenie warstwy ozonowej jest problemem globalnym, zarówno pod względem przyczyn, jak i skutków. Protokół jest wynikiem niezwykłego procesu badań naukowych, negocjacji między przedstawicielami społeczności biznesowych i środowiskowych oraz międzynarodowej dyplomacji. Jest to monumentalne osiągnięcie” [1].

Prezydent Ronald Reagan
1988

Powyższymi słowami prezydent Ronald Regan podsumował podpisanie protokołu montrealskiego. Był to początek wycofywania z użycia halonu – ze względu na jego udział w niszczeniu warstwy ozonowej – pomimo że gaz ten był (i jest) jednym ze skuteczniejszych gazów gaśniczych. Halon 1211 był powszechnie stosowany w przenośnych gaśnicach, natomiast halonu 1301 używano w stałych urządzeniach gaśniczych.

Halony są w pełni halogenowanymi związkami chemicznymi, które mają stosunkowo długi czas życia w atmosferze. Ulegają rozkładowi w stratosferze, w wyniku czego uwalniany jest reaktywny brom, który jest niezwykle szkodliwy dla ozonu. Szacuje się, że reakcje chemiczne z udziałem bromu stanowią jedną czwartą wszystkich reakcji odpowiedzialnych za niszczenie ozonu nad Antarktydą oraz połowę szkodliwych reakcji zachodzących nad Arktyką. Potencjał halonów do niszczenia ozonu jest do 10 razy większy niż potencjał chlorofluorowęglowodórów (CFC). Halony jako takie są bardzo agresywnymi substancjami chemicznymi zubożającymi warstwę ozonową. Jeden kilogram halonu 1211 może zniszczyć 50 ton ozonu [2].

Konsekwencją wycofania halonu było m.in. poszukiwanie innych równie skutecznych metod zwalczania pożarów. Jedną z nich jest stosowanie aerozoli gaśniczych i generatorów wykorzystywanych do ich dyspersji w chronionej przestrzeni. W niniejszym

being fixed firefighting systems – aerosol (SUG-A). The fire phenomenon and the groups of fires to which an aerosol system can be dedicated, the extinguishing mechanism and the design of a typical condensed aerosol generator are presented from the ground up. In addition, selected aspects of the research methodology related to laboratory testing, which is part of the process of assessment and verification of constancy of performance, are presented.

Condensed aerosol generators in fire protection

Placing a construction product on the market

In accordance with the Act of 16 April 2004 on construction products (Journal of Laws 2021, item 1213), these products may be placed on the market under two separate articles of the Act. Article 5 describes the three paths for the marketing of a construction product. Moreover, the so-called unit application is described in art. 10 of the Act.

According to art. 5 para. 1 of the aforementioned Act: “A construction product covered by a harmonised standard or conforming to a European Technical Assessment issued for it may only be placed on the market or made available on the national market in accordance with Regulation No 305/2011. The model for the CE marking is set out in Annex II to Regulation (EC) No 765/2008 of the European Parliament and of the Council of 9 July 2008 setting out the requirements for accreditation and market surveillance relating to the marketing of products and repealing Regulation (EEC) No 339/93 (EU L 218 of 13.08.2008, p. 30)”. As no standards or ETAs harmonised with Regulation 305/2011 have been published, the use of this method is not possible at present.

Pursuant to para. 2. A construction product which is not covered by a harmonised standard, for which the coexistence period referred to in art. 17 para. 5 of Regulation No 305/2011 has ended, and for which no European technical assessment has been issued, may be placed on the market or made available on the national market if it is marked with a construction mark, the design of which is set out in Annex 1 to the Act. The application of this paragraph of the Act in practice boils down to marking the product with a construction mark following a process of national assessment and verification of constancy of performance, on the basis of a technical reference document in the form of Polish Standard PN-EN 15276-1:2019-07 – only for condensed aerosol generators – or a national technical assessment in the group Fire suppression and extinguishing systems – kits: aerosol fire extinguishing kits. A kit means a construction product placed on the market by a single manufacturer as a set of at least two separate components that need to be put together to be incorporated in construction works. An example of an aerosol extinguishing kit is the combination of a condensed aerosol generator and a control and indicating device, which can operate in one or more enclosures. In Poland, the bodies which have the possibility within the scope of accreditation to issue a national certificate of performance on the basis of a Polish Standard or the national

przeglądzie przybliżono kluczowe cechy generatorów skondensowanego aerozolu (ang. *condensed aerosol (fire) extinguishing systems*) należących do stałych urządzeń gaśniczych aerozolowych (SUG-A). Od podstaw przedstawiono zjawisko pożaru oraz grupy pożarów, którym dedykowany może być system aerozolowy, mechanizm gaszenia oraz budowę typowego generatora skondensowanego aerozolu. Zaprezentowano ponadto wybrane aspekty metodyki badawczej, związane z badaniami laboratoryjnymi, które są elementem procesu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych.

Generatory skondensowanego aerozolu w ochronie przeciwpożarowej

Wprowadzenie wyrobu budowlanego do obrotu

Zgodnie z ustawą z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz.U. 2021 poz. 1213) wyroby te mogą być wprowadzane do obrotu na podstawie dwóch osobnych artykułów ustawy. W artykule 5 opisano trzy ścieżki wprowadzenia do obrotu wyrobu budowlanego. Natomiast tzw. jednostkowe zastosowanie opisuje artykuł 10 ustawy.

Zgodnie z art. 5 ust. 1 przywołanej powyżej ustawy: „Wyrób budowlany objęty normą zharmonizowaną lub zgodny z wydaną dla niego europejską oceną techniczną może być wprowadzony do obrotu lub udostępniany na rynku krajowym wyłącznie zgodnie z Rozporządzeniem nr 305/2011. Wzór oznakowania CE określa załącznik II do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 765/2008 z dnia 9 lipca 2008 r., ustanawiającego wymagania w zakresie akredytacji i nadzoru rynku, odnoszące się do warunków wprowadzania produktów do obrotu i uchylającego rozporządzenie (EWG) nr 339/93 (Dz. Urz. UE L 218 z 13.08.2008, s. 30)”. Ponieważ nie opublikowano norm lub EOT zharmonizowanych z rozporządzeniem nr 305/2011, wykorzystanie tej metody na dzień dzisiejszy nie jest możliwe.

Zgodnie z ust. 2 Wyrób budowlany nieobjęty normą zharmonizowaną, dla której zakończył się okres koegzystencji, o którym mowa w art. 17 ust. 5 rozporządzenia nr 305/2011, i dla którego nie została wydana europejska ocena techniczna, może być wprowadzony do obrotu lub udostępniany na rynku krajowym, jeżeli został oznakowany znakiem budowlanym, którego wzór określa załącznik nr 1 do ustawy. Zastosowanie tego ustępu ustawy w praktyce sprowadza się do oznakowania wyrobu znakiem budowlanym po przeprowadzeniu procesu krajowej oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych, na podstawie technicznego dokumentu odniesienia w postaci Polskiej Normy PN-EN 15276-1:2019-07 – wyłącznie dla generatorów skondensowanego aerozolu lub krajowej oceny technicznej w grupie Systemy tłumienia i gaszenia pożaru – zestawy: zestawy gaśnicze aerozolowe. Zestaw oznacza wyrób budowlany wprowadzony do obrotu przez jednego producenta jako zestaw co najmniej dwóch odrębnych składników, które muszą zostać połączone, aby mogły zostać włączone w obiektach budowlanych. Przykładem zestawu gaśniczego aerozolowego jest połączenie generatora skondensowanego aerozolu oraz urządzenia sterującego i sygnalizującego, które może pracować w jednej lub wielu obudowach. W Polsce jednostkami, które posiadają w zakresie akredytacji możliwość wydania krajowego certyfikatu właściwości użytkowych na podstawie Polskiej Normy lub krajowej

technical assessment are the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP-PIB) and the Building Research Institute (ITB).

According to para. 3, a construction product which does not fall within the scope of the harmonised technical specifications referred to in art. 2 item 10 of Regulation No 305/2011 may be made available on the national market if it has been lawfully placed on the market in another Member State or participant in the European Free Trade Association (EFTA) – party to the Agreement on the European Economic Area or in Turkey, and its performance enables the fulfilment of the basic requirements by construction works designed and built in the manner laid down in the technical and construction regulations and in accordance with the principles of technical knowledge. The rules and procedures for the application by the Member States of the principle of mutual recognition in individual cases – for goods falling within the scope of art. 34 of the Treaty on the Functioning of the European Union (TFEU) that are lawfully placed on the market in another Member State – are laid down in Regulation (EU) 2019/515 [9], which is binding in its entirety and directly applicable in all Member States. The implementation of this paragraph of art. 5 rests solely with the marketer of the construction product. This process takes place bypassing the so-called third party – accredited bodies are not involved.

The fourth theoretical possibility is art. 10 of the Act, according to which construction products – with the exception of those referred to in art. 5 para. 1 – are authorised for individual use in a construction work. – manufactured according to the individual technical documentation prepared by the designer of the facility or agreed with him, for which the manufacturer has issued a statement that compliance of the construction product with the technical documentation and regulations is ensured. By analogy with para. 3, the implementation of this article of the Act by the marketer takes place bypassing the so-called third party.

The four paths for placing a product on the market listed in the paragraphs above are current, important provisions of the law. Practically, however, in order to introduce a condensed aerosol generator-type construction product (or aerosol extinguishing kit), it is necessary to label the product (or kit) with a construction mark (irrespective of the technical reference document PN or KOT), which should be implemented on the basis of art. 5 para. 2 of the Construction products act.

Placing the product into service in fire protection

Independently of the Construction products act mentioned in the previous chapter, there is an independent legal act – i.e. the Act of 24 August 1991 on fire protection (Journal of Laws 2024, item 275). In accordance with its provisions, products which serve to ensure public safety or protection of health and life and property, which are introduced for use in fire protection units and which are used by these units to alert them to fire or other danger and to carry out rescue operations, as well as products which are handheld fire extinguishing equipment, may only be used after they have been granted a permit for use.

oceny technicznej, są Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej – Państwowy Instytut Badawczy (CNBOP-PIB) oraz Instytut Techniki Budowlanej (ITB).

Zgodnie z ust. 3 wyrób budowlany nieobjęty zakresem przedmiotowym zharmonizowanych specyfikacji technicznych, o których mowa w art. 2 pkt 10 rozporządzenia nr 305/2011, może być udostępniany na rynku krajowym, jeżeli został legalnie wprowadzony do obrotu w innym państwie członkowskim Unii Europejskiej lub w państwie członkowskim Europejskiego Porozumienia o Wolnym Handlu (EFTA) – stronie umowy o Europejskim Obszarze Gospodarczym albo w Turcji, a jego właściwości użytkowe umożliwiają spełnienie podstawowych wymagań przez obiekty budowlane zaprojektowane i budowane w sposób określony w przepisach techniczno-budowlanych oraz zgodnie z zasadami wiedzy technicznej. Przepisy i procedury dotyczące stosowania przez państwa członkowskie zasady wzajemnego uznawania w indywidualnych przypadkach – w odniesieniu do towarów objętych zakresem stosowania art. 34 Traktatu o Funkcjonowaniu Unii Europejskiej (TFUE), które są zgodnie z prawem wprowadzane do obrotu w innym państwie członkowskim – określa rozporządzenie (UE) 2019/515 [9], które wiąże w całości i jest bezpośrednio stosowane we wszystkich państwach członkowskich. Realizacja tego ustępu z artykułu 5 spoczywa wyłącznie na wprowadzającym wyrób budowlany do obrotu. Proces ten odbywa się z pominięciem tzw. strony trzeciej – podmioty akredytowane nie biorą w nim udziału.

Czwartą, teoretyczną możliwością pozostaje art. 10 ustawy, według którego dopuszczone do jednostkowego zastosowania w obiekcie budowlanym są wyroby budowlane – z wyłączeniem wyrobów, o których mowa w art. 5 ust. 1 – wykonane według indywidualnej dokumentacji technicznej, sporządzonej przez projektanta obiektu lub z nim uzgodnionej, dla których producent wydał oświadczenie, że zapewniono zgodność wyrobu budowlanego z tą dokumentacją oraz z przepisami. Analogicznie jak w ustępie 3 realizacja tego artykułu ustawy przez wprowadzającego do obrotu odbywa się z pominięciem tzw. strony trzeciej.

Wymienione w akapitach powyżej cztery ścieżki wprowadzenia wyrobu do obrotu to aktualne, ważne zapisy prawa. Praktycznie jednak, aby wprowadzić wyrób budowlany typu generator skondensowanego aerozolu (lub zestaw gaśniczy aerozolowy), konieczne jest oznakowanie wyrobu (lub zestawu) znakiem budowlanym (niezależnie od technicznego dokumentu odniesienia PN lub KOT), co powinno być realizowane na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy o wyrobach budowlanych.

Wprowadzenie wyrobu do użytkowania w ochronie przeciwpożarowej

Niezależnie od wymienionej w poprzednim rozdziale ustawy o wyrobach budowlanych funkcjonuje niezależny akt prawny – tj. ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz.U. 2024 poz. 275). Zgodnie z jej zapisami wyroby służące zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, wprowadzane do użytkowania w jednostkach ochrony przeciwpożarowej oraz wykorzystywane przez te jednostki do alarmowania o pożarze lub innym zagrożeniu oraz do prowadzenia działań ratowniczych, a także wyroby stanowiące podręczny sprzęt gaśniczy, mogą być stosowane wyłącznie po uprzednim uzyskaniu dopuszczenia do użytkowania.

Approvals for use are issued on the basis of the regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration of 20 June 2007 on the list of products used to ensure public safety or protection of health and life, as well as property, and the rules for issuing approvals for use of such products (Journal of Laws, no 143, item 1002, as amended; Journal of Laws 2010, no 85, item 553; 2018, item 984; 2022 item 2282). This regulation does not refer to condensed aerosol generators, but item 12.1 mentions control centres for fire protection equipment (CSUP), which is the same as the control and indicating device (USiS) listed in the construction regulations. So, in the case of the marketing of a kit which includes USiS, it is necessary to also obtain an approval certificate for the CSUP.

Mechanism of operation and activation of generators

Fixed firefighting systems – aerosol (condensed aerosol generators or aerosol extinguishing kits – usually a condensed aerosol generator with control and indicating device) are one way of protecting spaces in building structures where permanent staff residence is not expected (or temporary residence is possible), and where the use of fixed water firefighting systems would result in potential damage to property.

The operation of the system – through total flooding – is based on injecting the extinguishing agent into the entire volume affected at the required pre-calculated extinguishing concentration. It is used when a modular system configuration and easy, cost-effective installation and maintenance are needed. Potential applications include, among other things, protection of power generation and distribution equipment, electrical panels, machine rooms, storage facilities, battery energy storage systems and mobile and portable equipment [3].

Condensed aerosol generators can be activated by a thermal pulse with the appropriate thermal energy (depending on the design). As standard, they should be electrically triggered by a signal from a control and indicating device (USiS). Thermal triggering e.g. by means of a thermocouple (if available) should be considered as an emergency protection in the event of a fault (failure of electrical tripping). Triggering by means of an electrical signal involves transmission of an initiating signal from the fire alarm or extinguishing control panel¹ (the alarm signal is previously transmitted to the control panel by a fire detector) to the control and indicating device and only this device is responsible for triggering the condensed aerosol generators. The classification of aerosols as an extinguishing agent in fixed firefighting systems is shown in Figure 1. Red colour indicates those falling within the scope of this paper.

¹ CSG according to EN 12094-1 should not be directly responsible for activation, as according to the standard, CSG can cooperate with fire extinguishing devices using CO₂, inert gas, or halogenated hydrocarbon gas.

Dopuszczenia do użytkowania wydawane są na podstawie rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz.U. Nr 143, poz. 1002; zm.; Dz.U. 2010 r. Nr 85 poz. 553, 2018 poz. 984, 2022 poz. 2282). W rozporządzeniu tym nie przywołano generatorów skondensowanego aerozolu, jednak w punkcie 12.1 wymieniano centrale sterujące urządzeniami przeciwpożarowymi (CSUP), które są tym samym co urządzenie sterujące i sygnalizujące USiS wymienione w przepisach budowlanych. Zatem w przypadku wprowadzenia do obrotu zestawu, w skład którego wchodzi USiS, konieczne jest również uzyskanie świadectwa dopuszczenia dla CSUP.

Mechanizm działania i aktywacja generatorów

Stałe urządzenia gaśnicze aerozolowe (generatory skondensowanego aerozolu lub aerozolowe zestawy gaśnicze – przeważnie generator skondensowanego aerozolu z urządzeniem sterującym i sygnalizującym) są jednym ze sposobów ochrony przestrzeni w obiektach budowlanych, w których nie przewiduje się stałego pobytu personelu (lub możliwy jest jego pobyt czasowy), i w których zastosowanie stałych urządzeń gaśniczych wodnych skutkowałoby potencjalnymi szkodami w mieniu.

Działanie systemu – poprzez całkowite wypełnienie (ang. *total flooding*) – opiera się na podawaniu środka gaśniczego do całej zagrożonej kubatury w wymaganym, obliczonym wcześniej stężeniu gaśniczym. Stosuje się go, gdy konieczna jest modułowa konfiguracja systemu oraz łatwa, ekonomiczna instalacja i konserwacja. Potencjalne zastosowania obejmują m.in. ochronę urządzeń do wytwarzania i dystrybucji energii elektrycznej, paneli elektrycznych, maszynowni, magazynów, systemów magazynowania energii z akumulatorów oraz sprzętu mobilnego i przenośnego [3].

Generatory skondensowanego aerozolu mogą być aktywowane impulsem termicznym o odpowiedniej energii cieplnej (zależnie od budowy). Standardowo powinny być wyzwalone elektrycznie na podstawie sygnału z urządzenia sterującego i sygnalizującego. Wyzwolenie termiczne np. za pomocą termokordu (jeśli dostępne) powinno być rozpatrywane jako awaryjne zabezpieczenie na wypadek uszkodzenia (braku możliwości wyzwolenia elektrycznego). Wyzwolenie za pomocą sygnału elektrycznego polega na przekazaniu sygnału inicjującego z centrali sygnalizacji pożarowej lub centrali sterowania gaszeniem¹ (wcześniej sygnał alarmu do centrali przekazuje czujka pożarowa) do urządzenia sterującego i sygnalizującego i dopiero to urządzenie odpowiada za wyzwolenie generatorów skondensowanego aerozolu. Klasyfikację aerozoli jako środka gaśniczego w instalacjach stałych urządzeń gaśniczych przedstawiono na rycinie 1. Kolorem czerwonym oznaczono te wpisujące się w zakres niniejszego artykułu.

¹ CSG wg EN 12094-1 nie powinno bezpośrednio odpowiadać za wyzwolenie, ponieważ zgodnie z normą CSG może współpracować z urządzeniami gaśniczymi na CO₂, gaz obojętny lub gazowy węglowodór chlorowcowany.

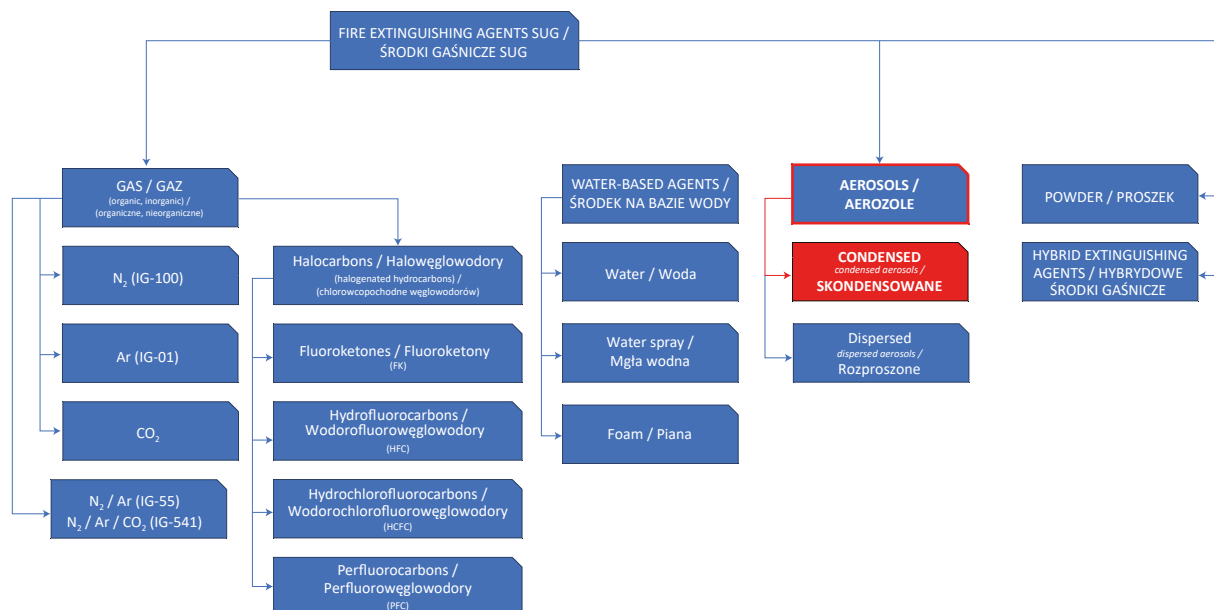


Figure 1. Extinguishing agents used in fixed firefighting systems

Rycina 1. Środki gaśnicze stosowane w instalacjach stałych urządzeń gaśniczych

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Fire classes

According to the Polish standard PN-EN 2:1998+A1:2006 *Division of fires* [4], fires of group A include solid material fires, usually of organic origin, whose normal combustion occurs with the formation of glowing coals. Fire group B are liquid and solid melting fires, while fire group C are gas fires. Group D are metal fires. The last group F (introduced by change A1) is for kitchen product fires, i.e. vegetable or animal oils and fats listed in the standard [4]. It should be noted here that despite the analogous symbolism of fires – A, B, C, etc. – in the United States these symbols depict different fires. This may be relevant when reading the documentation of condensed aerosol generators or aerosol extinguishing kits manufactured in the USA or in countries where NFPA/UL guidelines and standards (specifications) have been implemented. A comparison between the Polish Standard and NFPA documents is shown in Table 1.

Grupy pożarów

Zgodnie z Polską Normą PN-EN 2:1998+A1:2006 *Podział pożarów* [4] do pożarów grupy A zalicza się pożary materiałów stałych, zwykle pochodzenia organicznego, których normalne spalanie zachodzi w tworzeniu żarzących się węgli. Grupa pożarów B to pożary cieczy i materiałów stałych topiących się, natomiast grupa pożarów typu C to pożary gazów. Grupę D stanowią pożary metali. Ostatnia grupa F (wprowadzona zmianą A1) dotyczy pożarów produktów kuchennych, tj. wymienionych w normie olei roślinnych lub zwierzęcych i tłuszczu [4]. Należy zwrócić przy tym uwagę, iż pomimo analogicznej symboliki pożarów – A, B, C itd. – w Stanach Zjednoczonych symbole te oznaczają inne pożary. Może mieć to znaczenie przy zapoznawaniu się z dokumentacją generatorów skondensowanego aerozolu lub aerozolowych zestawów gaśniczych produkowanych w USA lub w krajach, gdzie wdrożono wytyczne i normy (specyfikacje) NFPA /UL. Porównanie pomiędzy Polską Normą oraz dokumentami NFPA przedstawiono w tabeli 1.

Table 1. Comparison of fire groups PL/USA
Tabela 1. Porównanie grup pożarów PL/USA

Group of fires / Grupa pożarów	PN-EN 2:1998+A1:2006 [4]	NFPA 2010:2020 [5] NFPA 10:2022 [6]
A	Solid material fires / Pożary materiałów stałych	Fires of ordinary combustible materials such as wood, fabric, paper, rubber and many plastics / Pożary zwykłych materiałów palnych, takich jak drewno, tkaniny, papier, guma i wiele tworzyw sztucznych
B	Liquid and solid melting fires / Pożary cieczy i materiałów stałych topiących się	Fires of flammable liquids, combustible liquids, petroleum lubricants, tar, oils, oil paints, solvents, varnishes, alcohols and flammable gases / Pożary cieczy łatwopalnych, cieczy palnych, smarów naftowych, smoły, olejów, farb olejnych, rozpuszczalników, lakierów, alkoholi i gazów łatwopalnych
C	Gas fires / Pożary gazów	Fires of live electrical equipment / Pożary urządzeń elektrycznych pod napięciem
D	Metal fires / Pożary metali	Fires of combustible metals such as magnesium, titanium, zirconium, sodium, lithium and potassium / Pożary metali palnych, takich jak magnez, tytan, cyrkon, sól, lit i potas
E	*	
K	----- -----	Fires in cooking appliances that involve combustible cooking media (vegetable or animal oils and fats) / Pożary w urządzeniach do gotowania, które obejmują palne środki gotujące (oleje i tłuszcze warzywne lub zwierzęce)
F	Fires in cooking products (vegetable or animal oils and fats) in cooking appliances / Pożary produktów kuchennych (olei roślinnych lub zwierzęcych i tłuszczu) w urządzeniach kuchennych	----- -----

* Note: The symbol E appearing on some data sheets for e.g. portable fire extinguishers, in both Polish and American standards, does not appear. This is borrowed from the Australian and New Zealand market, where fires of “electrically powered fuels of any other group” are designated under this symbol (in the AS/NZS 1850 standard). / Uwaga: Symbol E pojawiający się na niektórych kartach katalogowych np. gaśnic przenośnych, zarówno w polskich, jak i amerykańskich normach nie występuje. Jest to zapożyczenie z rynku Australii i Nowej Zelandii, gdzie pod tym symbolem (w normie AS / NZS 1850) oznaczono pożary „paliw zasilanych elektrycznie dowolnej innej grupy”.

Source: Own elaboration based on [4–6].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [4–6].

The previously cited Polish Standard PN-EN 2 does not give test methods, but is limited to naming groups of fires. Test methods for specific fire groups are described in standards that deal with the testing of condensed aerosol generators, e.g. ISO 15779:2011 *Condensed aerosol fire extinguishing systems. Requirements and test methods for components and system design, installation and maintenance* (group A and B fires) or PN-EN 15276-1 *Fixed firefighting systems – Aerosol extinguishing systems – Part 1: Requirements and test methods for components* (group A and C fires, fire involving heptane and plastic). In particular, the provisions of Polish Standard EN 15276-1 require clarification. Introduction to this document states that aerosol extinguishing agents are recognised as effective agents for extinguishing group A fires (fires on solid surfaces) and group B and C fires, but when planning complex solutions it should be borne in mind that there may be hazards for which these systems are not suitable and that in certain circumstances or situations their use may involve hazards requiring special precautions. In addition, EN 15276-1 explicitly describes and names only group A and C fires. On the other hand, the specification LPS 1656 *Requirements and test methods for the LPCB approval of Condensed Aerosol Extinguishing*

Przywołana wcześniej Polska Norma PN-EN 2 nie podaje metod badań, jedynie ogranicza się do nazwania grup pożarów. Metody badań dla specyficznych grup pożarów opisane są w normach, które dotyczą badań generatorów skondensowanego aerozolu m.in. ISO 15779:2011 *Condensed aerosol fire extinguishing systems. Requirements and test methods for components and system design, installation and maintenance* (pożary grupy A i B) lub PN-EN 15276-1 *Stałe urządzenia gaśnicze – Aerozolowe zestawy gaśnicze – Część 1: Wymagania i metody badań elementów składowych* (pożary grupy A i C, pożar z udziałem heptanu oraz tworzywa sztucznego). Wyjaśnienia w szczególności wymagają zapisy Polskiej Normy PN-EN 15276-1. We wstępie do tego dokumentu zapisano, iż aerozolowe środki gaśnicze są uznawane za skuteczne środki do gaszenia pożarów grupy A (pożary płonące na powierzchniach ciał stałych) oraz pożarów grupy B i C, ale przy planowaniu kompleksowych rozwiązań należy pamiętać, że mogą istnieć zagrożenia, dla których te systemy nie są odpowiednie oraz że w pewnych okolicznościach lub sytuacjach ich użycie może wiązać się z zagrożeniami wymagającymi specjalnych środków ostrożności. Ponadto norma PN-EN 15276-1 wprost opisuje i nazywa wyłącznie pożary grup A oraz C.

Generators defines possible applications for group A, group B and grouped power or data cable fires.

This paper describes the normative test methods derived from Polish Standard 15276-1 for group A and C fires. Independently, tests involving heptane and plastic, which should be identified with fires belonging to group B, are included. However, the author has not described tests under ISO 15779, LPS 1656 and NFPA 2010.

Flame and fire, generator construction and extinguishing mechanism *Flame and fire*

For many years, the concept of flame was symbolised by the so-called fire triangle, consisting of:

- fuel – solids, flammable liquids, flammable gases, metals, vegetable oils, etc.,
- heat – energy stimuli necessary to initiate the combustion reaction and the thermal energy, a product of the combustion process, necessary to sustain it, and
- oxidant – a chemical compound or element which is, in an oxidation-reduction reaction, is an electron acceptor; under fire conditions, the oxidant is most often oxygen from the air (about 21% by volume) [7].

However, fire research has shown that a fourth element is necessary: a chemical chain reaction. Thus, the triangle was changed to a tetrahedron to reflect the above change. Essentially, the four factors listed above must occur for fire to start. Removing any of them will extinguish the fire [8].

Fire spreads through the normal mechanisms of transmission, which are:

- conduction: direct contact between bodies,
- convection: heat source heats the air, hot air rises and creates air circulation, which heats nearby objects by conduction,
- radiation: heat transfer in the form of waves which, upon contact with a body, are absorbed, reflected or transmitted [9].

Fire, on the other hand, according to the terminology standard [10, item 3.139], is to be understood as an uncontrolled process of self-sustained combustion that has not been triggered to produce useful effects and is not limited in time and space. The fire tetrahedron is shown in Figure 2.

Z kolei specyfikacja LPS 1656 *Requirements and test methods for the LPCB approval of Condensed Aerosol Extinguishing Generators* określa możliwe zastosowanie dla pożarów grupy A, grupy B oraz zgrupowanych kabli zasilających i komunikacyjnych (ang. *grouped power or data cable fires*).

W niniejszym artykule opisano normatywne metody badań wynikające z Polskiej Normy 15276-1 dla pożarów grupy A oraz C. Niezależnie uwzględniono badania z udziałem heptanu oraz tworzywa sztucznego, które należy utożsamiać z pożarami należącymi do grupy B. Autor nie opisał natomiast badań wynikających z normy ISO 15779 oraz innych specyfikacji, m.in. LPS 1656 oraz NFPA 2010.

Ogień i pożar, budowa generatora oraz mechanizm gaszenia *Ogień i pożar*

Przez wiele lat koncepcja ognia była symbolizowana przez tzw. trójkąt spalania, na który składało się:

- paliwo – ciała stałe, ciecze palne, gazy palne, metale, oleje roślinne itp.,
- ciepło – bodźce energetyczne niezbędne do zapoczątkowania reakcji spalania oraz energię cieplną, stanowiącą produkt procesu spalania, konieczną do jego podtrzymywania oraz
- utleniacz – związek chemiczny lub pierwiastek będący w reakcji utleniania – redukcji akceptorem elektronów; w warunkach pożaru utleniaczem najczęściej jest tlen z powietrza (ok. 21% objętościowych) [7].

Badania nad ogniem wykazały jednak, że niezbędny jest czwarty element: chemiczna reakcja łańcuchowa. Tym samym trójkąt został zmieniony na czworościan, tak aby odzwierciedlić powyższą zmianę. Zasadniczo, aby pojawił się ogień, muszą wystąpić cztery wymienione czynniki. Usunięcie któregośkolwiek z nich spowoduje ugaszenie ognia [8].

Ogień rozprzestrzenia się poprzez normalne mechanizmy przenoszenia, którymi są:

- przewodzenie: bezpośredni kontakt między ciałami,
- konwekcja: źródło ciepła podgrzewa powietrze, gorące powietrze unosi się i tworzy się cyrkulacja powietrza, która ogrzewa pobliskie przedmioty poprzez przewodzenie,
- promieniowanie: przekazywanie ciepła w postaci fal, które po zetknięciu z ciałem są pochłaniane, odbijane lub przepuszczane [9].

Poprzez pożar zaś, zgodnie z normą terminologiczną [10, pkt 3.139], należy rozumieć niekontrolowany proces samopodtrzymującego się spalania, które nie zostało wywołane w celu uzyskania użytecznych efektów i nie jest ograniczone w czasie i przestrzeni. Czworoscian spalania przedstawiono na rycinie 2.

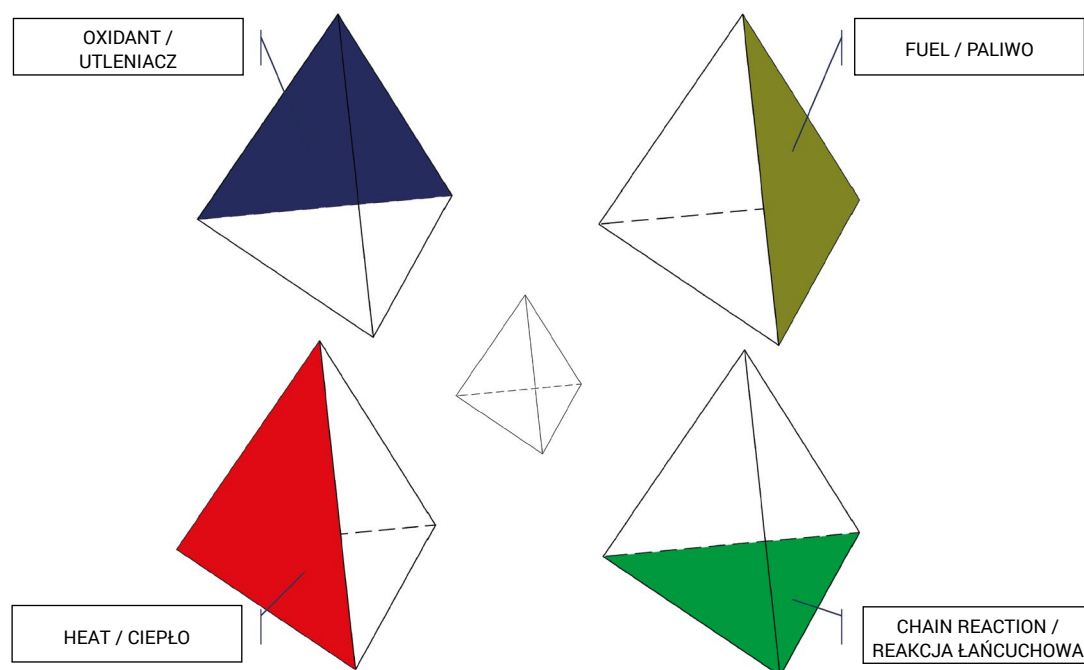


Figure 2. Fire tetrahedron

Rycina 2. Czworobok spalania

Source: Own elaboration based on M.M. Biel, *Nowoczesne środki gaśnicze i ich skuteczność działania*, rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2022 [15].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie M.M. Biel, *Nowoczesne środki gaśnicze i ich skuteczność działania*, rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2022 [15].

Construction of condensed aerosol generators

The construction of a typical condensed aerosol generator consists of several components, whereby they are built into the housing of the unit. Visible to the user from the outside are:

- the appliance housing,
- mounting bracket and
- activation mechanism (if used).

The main component of the condensed aerosol generator is the aerosol-generating material. This is a mixture of oxidiser, flammable material and technical admixtures, which, when activated, is responsible for producing an extinguishing aerosol in the combustion process. The activation of the aerosol-generating material is the responsibility of the activation mechanism (electric or thermocouple trigger). The next component is the cooling mechanism, which is responsible for adequate cooling of the aerosol produced by combustion. The last is the exhaust system, which is part of the housing already mentioned.

All parts inside the condensed aerosol generator should be made of corrosion-resistant material or should be adequately protected against corrosion. The manufacturer should ensure that the construction materials are also compatible with the solid aerosol forming compound and the cooling mechanism, so that the generator's performance is not adversely affected by corrosion or chemical action. In addition, the enclosure, which is crucial in the context of the normative service life of the product, should be designed so that ageing or environmental influences do not adversely affect the performance of the generator. Non-metallic

Budowa generatorów skondensowanego aerozolu

Na budowę typowego generatora skondensowanego aerozolu składa się kilka podzespołów, przy czym są one zabudowane w obudowie urządzenia. Widoczne z zewnątrz dla użytkownika są:

- obudowa urządzenia,
- uchwyt montażowy oraz
- mechanizm aktywujący (jeśli zastosowano).

Głównym elementem generatora skondensowanego aerozolu jest materiał aeroszotwórczy. Jest to mieszanina utleniacza, materiału palnego oraz domieszek technicznych, która po aktywacji odpowiada za wytworzenie w procesie spalania aerozolu gaśniczego. Za aktywację materiału aeroszotwórczego odpowiada mechanizm aktywujący (wyzwolenie elektryczne lub za pomocą termokordu). Kolejnym elementem jest mechanizm chłodzący, który odpowiada za właściwe schłodzenie aerozolu powstałego na skutek spalania. Ostatni jest układ wylotowy będący częścią wymienionej już obudowy.

Wszystkie części wewnątrz generatora skondensowanego aerozolu powinny być wykonane z materiału odpornego na korozję lub odpowiednio zabezpieczone przed korozją. Obowiązkiem producenta jest, aby materiały konstrukcyjne były również kompatybilne ze stałym związkiem tworzącym aeroszol i mechanizmem chłodzącym, tak aby korozja lub działanie chemiczne nie miały negatywnego wpływu na działanie generatora. Ponadto obudowa, co kluczowe w kontekście normatywnej żywotności wyrobu, powinna być zaprojektowana tak, aby starzenie się lub wpływy

materials and elastomers must be selected so that they are stable and do not change their performance characteristics over the manufacturer's recommended service life. A simplified cross-section of a cylindrical condensed aerosol generator is shown in Figure 3.

środowiskowe nie miały negatywnego wpływu na działanie generatora. Materiały niemetaliczne i elastomery należy dobrać tak, aby były stabilne i nie zmieniały swoich właściwości użytkowych w zalecanym przez producenta czasie eksploatacji. Uproszczony przekrój generatora skondensowanego aerozolu o cylindrycznym kształcie przedstawiono na rycinie 3.

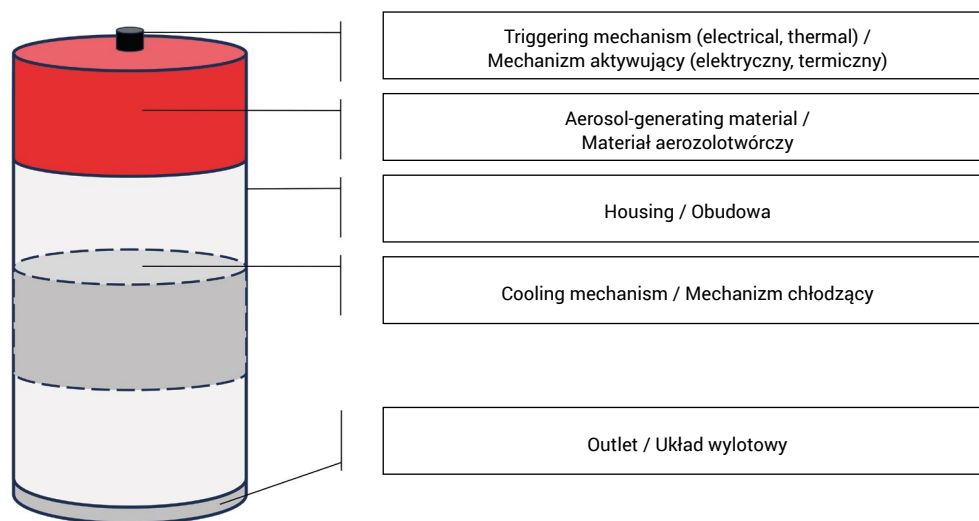


Figure 3. Simplified cross-section of a cylindrical condensed aerosol generator
Rycina 3. Uproszczony przekrój cylindrycznego generatora skondensowanego aerozolu

Source: Own elaboration based on [11].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [11].

Extinguishing

The technology of condensed aerosol-based extinguishing systems originates from the Soyuz rocket programme [11]. After the collapse of the USSR, the owners of the technology licensed the development and resale of products based on their technology to interested parties. Many of them decided to purchase the licences and thus started to sell Russian products based on the original Russian chemical compound, with little (if any) refinement, in Europe. Today, almost all companies on the market use their proprietary solutions.

An aerosol is a colloidal system (a mixture of two substances in which one is dispersed in the other), in which the dispersing medium is a gas (often air) and the dispersed substances are liquids or solids. Aerosols are divided into fog (liquid particles) and smoke (solid particles) [12]. The extinguishing aerosol used in SUG-A systems is therefore classified as colloidal smoke.

Mechanizm gaszenia

Technologia systemów gaśniczych opartych na skondensowanym aerozolu wywodzi się z programu raketowego Sojuz [11]. Po rozpadzie ZSSR właściciele technologii udzielali zainteresowanym stronom licencji na rozwój i odsprzedaż produktów na bazie posiadanej technologii. Wiele z nich zdecydowało się na zakup licencji i tym samym zaczęło sprzedawać na terenie Europy produkty pochodzące z Rosji, oparte na oryginalnym rosyjskim związku chemicznym, z niewielkim (jeśli w ogóle) udoskonaleniem. Obecnie niemal wszystkie firmy na rynku wykorzystują swoje autorskie rozwiązania.

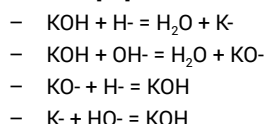
Aerosol to układ koloidalny (mieszanina dwóch substancji, w której jedna z nich jest rozproszona w drugiej), w którym ośrodkiem rozpraszającym jest gaz (często powietrze), a substancjami rozpraszanymi są ciecze lub ciała stałe. Aerozole dzieli się na mgłę (cząstki ciekłe) i dym (cząstki stałe) [12]. Aerosol gaśniczy stosowany w instalacjach SUG-A zaliczamy zatem do dymu koloidalnego.

Table 2. Division of colloidal systems according to their state of aggregation
Tabela 2. Podział układów koloidalnych ze względu na stan skupienia

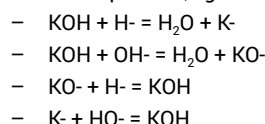
Dispersing medium / Ośrodek rozpraszający	Dispersed substance / Substancja rozproszona	Colloid type / Rodzaj koloidu	Examples / Przykłady	Specific name of the colloid / Nazwa szczegółowa koloidu
	Gas / Gaz		-----	Does not exist / Nie istnieje
Gas / Gaz	Liquid / Ciecz	Aerosols / Aerozole	Fog / Mgła	Liquid aerosol colloidal fog / Aerozole ciekłe mgła koloidalna
	Solid / Ciało stałe		Smoke / Dym	Solid aerosols colloidal smoke / Aerozole stałe dym koloidalny

Source / Źródło: Koloidy. Chemia fizyczna dla przyrodników [13, p. 513–514].

Fire extinguishing techniques using extinguishing agents such as CO₂ or water achieve their function by removing one or more of the agents present in the combustion tetrahedron described above. Extinguishing aerosols are designed to react with free radicals (OH, H and O) to disrupt the chain reaction [14]. Atomisation of nano- and micro-particles of the extinguishing agent occurs through a rapid physico-chemical transformation taking place at high temperature. The increasing temperature simultaneously causes an increase in pressure in the generator, which ejects the resulting aerosol [15]. The aerosol² captures the free radicals (which are present in the combustion zone and are intermediate products between successive chemical reactions; they are either free atoms or particle fragments, generally the result of a long series of transformations in an endothermic process) present in the flame combustion process, leading to oxidation inhibition [16]. Halocarbon agents (e.g. Halon 1301, mentioned in the introduction) have a similar effect. Without the chain reaction, there is no sufficient heat necessary to sustain the fire. The main principle of condensed aerosols, therefore, is to generate solid aerosol particles and inert gases in the required concentration and distribute them (due to the pressure increase on discharge) evenly throughout the protected volume. The quantity of the aerosol-forming compound must be at or above the design extinguishing concentration for a specified time to prevent re-ignition [17]. The aerosol reacts with free radicals and “once the hydroxide is formed by thermal dissociation, a cycle of reduction reactions takes place leading to a rapid decrease in free radical concentration (reducing combustion due to strong reducing properties) in the area of action of the nanopowder, according to the scheme” [18]:



Techniki gaszenia pożarów z zastosowaniem środków gaśniczych takich jak CO₂ czy woda osiągają swoją funkcję poprzez usunięcie jednego lub więcej czynników występujących w opisanym wyżej czworokącie spalania. Aerozole gaśnicze są zaprojektowane tak, aby reagować z wolnymi rodnikami (OH, H i O), zakłócając reakcję łańcuchową [14]. Atomizacja nano- i mikroziaren czynnika gaszącego zachodzi poprzez gwałtowną przemianę fizykochemiczną przebiegającą w wysokiej temperaturze. Rosnąca temperatura powoduje zarazem wzrost ciśnienia w generatorze, który wyrzuca powstały aerozol [15]. Aerozol² wychwytuje wolne rodniki (występują w strefie spalania i są produktami pośrednimi między kolejnymi reakcjami chemicznymi; są to albo wolne atomy, albo fragmenty cząstek, będące z reguły wynikiem długiego szeregu przemian w procesie o charakterze endotermicznym) obecne w procesie spalania płomieniowego, prowadząc do inhibicji utleniania [16]. Podobnie działają środki halowęglowodorowe (np. wymieniony we wstępie Halon 1301). Bez reakcji łańcuchowej nie ma wystarczającej ilości ciepła niezbędnego do podtrzymania ognia. Główną zasadą działania skondensowanych aerozoli jest zatem generowanie stałych cząstek aerozolu i gazów obojętnych w wymaganym stężeniu i rozprowadzaniu ich (na skutek wzrostu ciśnienia przy wyrzucie) równomiernie w całej chronionej kubaturze. Ilość związku tworzącego aerozol musi być na poziomie lub powyżej projektowego stężenia gaśniczego przez określony czas, aby zapobiec ponownemu zapłonowi [17]. Aerozol reaguje z wolnymi rodnikami, a „po utworzeniu wodorotlenku w wyniku dysocjacji termicznej następuje cykl reakcji redukcyjnych prowadzących do szybkiego spadku stężenia wolnych rodników (ograniczania spalania w wyniku silnych właściwości redukcyjnych) w obszarze działania nanoproszku, zgodnie ze schematem” [18]:



² Fire extinguishing aerosols are produced on the basis of carbonates or nitrates (e.g. potassium).

² Aerozole gaśnicze są produkowane na bazie węglanów lub azotanów (np. potasu).

Selected laboratory test issues

The following selected tests are described in a simplified manner, but – in the author's opinion – allowing a general understanding of the essence of the tests. Details of specific requirements related to the measuring system have been omitted. The basis of the study is the Polish Standard PN-EN 15276-1:2019-07 *Fixed firefighting systems – Aerosol firefighting systems – Part 1: Requirements and test methods for components* [19]. This document is not a harmonised standard, but within the scope of the applicable legislation for building products of the condensed aerosol generator type, it is the only one against which the process related to the assessment and verification of constancy of performance can be carried out, as explained above. In practice, it is possible to carry out tests based on ISO 15779:2011, but this may be deemed as outdated and is planned to be replaced³. The possible (and theoretical) use of the ISO standard is only related to its use by national technical assessment bodies for the development of requirements for a "set of equipment", which remains within the exclusive competence of these bodies.

Group A (surface) fire

The test fire consists of two wooden (spruce or fir) stacks, each measuring 0.3 x 0.3 x 0.3 m. One stack consists of eight alternate layers, which are arranged at right angles to the adjacent layers. Each layer consists of four beams. The beams should be 3.8 cm thick. The individual beams are placed at equal intervals on the previous layer and fixed with carpenter's staples or nails. The moisture content of the beams should be between 9 and 13% (by weight).

One of the stacks should be placed behind the divider, which should be installed between floor and ceiling, perpendicular to the direction of discharge of the aerosol generator and be 20% of the length or width of the enclosure (whichever is applicable for the discharge location). The stack is placed on four blocks (concrete, cinderblock, brick) with a side length of 5 cm placed at each corner of the stack. Stack 1 is shielded by an arrangement of additional shields with a layout identical to that of the polymer sheet test fires (see Figure 5). Stack 2 should be similarly positioned in the middle relative to the divider. Under each of the stacks, in the middle of the first layer of four wooden blocks, a shredded newspaper of 113.5 g should be placed, which is the fuel from which the fire will ignite the stack. The arrangement of the wooden stacks (a) and the layout of the stacks in the room together with the divider (b) are presented in Figure 4 (the stack covers are not included in the figure to enhance legibility).

³ Currently, the Technical Committee ISO/TC 21/SC 8 is working on ISO/DIS 15779 (stage 5 of 9).

Wybrane zagadnienia badań laboratoryjnych

Poniższe wybrane badania opisano w sposób uproszczony, jednak – w opinii autora – pozwalający na ogólne zrozumienie istoty badań. Pominęto szczegóły dotyczące specyficznych wymagań związanych z układem pomiarowym. Podstawę opracowania stanowi Polska Norma PN-EN 15276-1:2019-07 *Stale urządzenia gaśnicze – Aerosolowe zestawy gaśnicze – Część 1: Wymagania i metody badań elementów składowych* [19]. Dokument ten nie jest normą zharmonizowaną, lecz w zakresie obowiązujących przepisów prawa dla wyrobów budowlanych typu „generator skondensowanego aerozolu” jest jedyną, w oparciu o którą można przeprowadzić proces związany z oceną i weryfikacją stałości właściwości użytkowych, co wyjaśniono wyżej. W praktyce możliwe jest prowadzenie badań w oparciu o normę ISO 15779:2011, jest to jednak dokument, który może być uważany za przestarzały i planowane jest jego zastąpienie³. Ewentualne (i teoretyczne) wykorzystanie normy ISO związane jest wyłącznie z jej zastosowaniem przez krajowe jednostki oceny technicznej do opracowania wymagań dla „zestawu urządzeń”, co pozostaje w wyłączonych kompetencjach tych jednostek.

Pożar (powierzchniowy) grupy A

Na pożar testowy składają się dwa drewniane (świerk lub jodła) stosy, każdy o wymiarach 0,3 x 0,3 x 0,3 m. Jeden stos składa się z ośmiu naprzemiennych warstw, które są ułożone pod kątem prostym do warstw sąsiednich. Każda warstwa składa się z czterech belek. Belki powinny mieć grubość 3,8 cm. Poszczególne belki rozmieszcza się w równych odstępach na poprzedniej warstwie i mocuje za pomocą zszywek stolarskich lub gwoździ. Zawartość wilgoci w belkach powinna mieścić się w przedziale od 9 do 13% (wagowo).

Jeden ze stosów należy umieścić za przegrodą, która powinna być zainstalowana pomiędzy podłogą a sufitem, prostopadle do kierunku wyładowania generatora aerozolu i stanowić 20% długości lub szerokości obudowy (w zależności od tego, co ma zastosowanie w odniesieniu do miejsca wyładowania). Stos ustawia się na czterech blokach (betonowe, żużlowe, ceglane) o boku długości 5 cm, umieszczonych w każdym rogu stosu. Stos nr 1 osłonięty jest układem dodatkowych osłon o układzie identycznym jak podczas pożarów testowych z wykorzystaniem arkuszy polimerowych (zob. ryc. 5). Stos nr 2 należy umieścić w analogiczny sposób pośrodku względem przegrody. Pod każdym ze stosów, pośrodku pierwszej warstwy czterech drewnianych bloków należy umieścić rozdrobnioną gazetę o masie 113,5 g, która stanowi paliwo, od którego ogniem zapali się stos. Rozmieszczenie drewnianych stosów (a) oraz układ stosów w pomieszczeniu wraz z przegrodą (b) zaprezentowano na rycinie 4 (dla zwiększenia czytelności na rycinie nie zamieszczono osłon stosów).

³ Obecnie Komitet Techniczny ISO/TC 21/SC 8 pracuje nad normą ISO/DIS 15779 (etap 5 z 9).

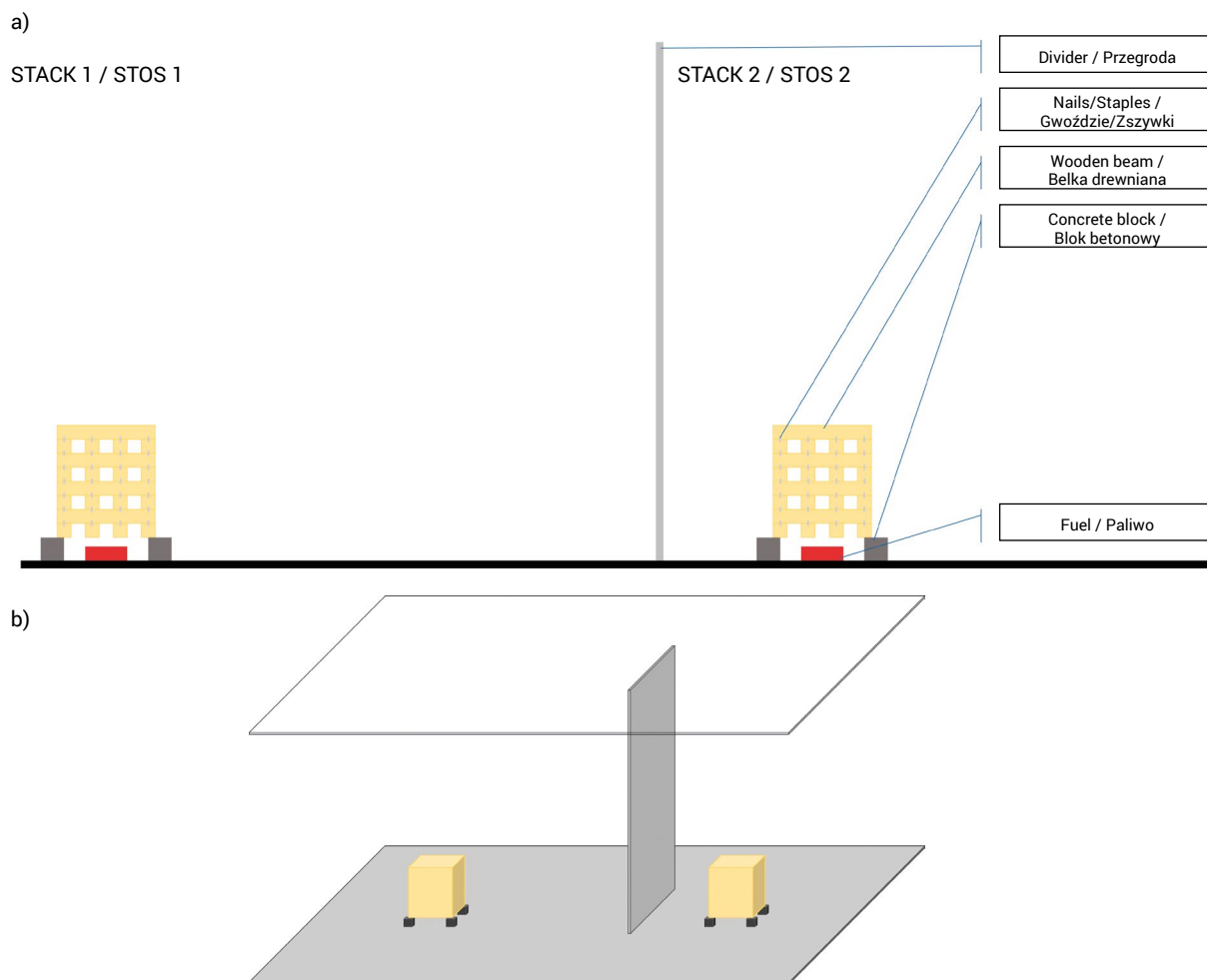


Figure 4. Simplified view of the stacks during a type A fire: a) front view, b) arrangement in the room
Rycina 4. Uproszczony widok stosów podczas pożaru typu A: a) widok od przodu, b) układ w pomieszczeniu

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Cover

Above stack 1, which is the focal point of the system, a so-called fuel shield is erected. It consists of a metal frame with a steel plate on top. The fuel shield is 0.825 m high, while the steel sheet top measures 0.76 m x 0.76 m. The remaining four sides and bottom of the cube remain open. Two external dividers with side lengths of 1 m and a height of 0.3 m are placed around the aforementioned external cover. The dividers should be placed 9 cm above the floor, thus their bottom edge should be 4 cm above the bottom edge of the stack. The lower divider should be positioned so that its sides are parallel to the fuel shield and the stack. The upper divider should be rotated at an angle of 45° to the lower divider. A view of the stack including the casing is presented in Figures 5.

Ośłona

Nad stosem nr 1, który stanowi punkt centralny układu, stawia się tzw. osłonę paliwową. Składa się ona z metalowej ramy z blachą stalową na górze. Osłona paliwowa ma wysokość 0,825 m, natomiast blat z blachy stalowanej ma wymiary 0,76 m x 0,76 m. Pozostałe cztery boki i spód sześcianu pozostają otwarte. Dwie zewnętrzne przegrody o długości boku 1 m i wysokości 0,3 m umieszcza się wokół ww. zewnętrznej osłony. Przegrody należy umieścić 9 cm nad podłogą, tym samym ich dolna krawędź powinna znajdować się 4 cm ponad dolną krawędź stosu. Dolną przegrodę ustawia się w taki sposób, aby jej boki były równoległe do osłony paliwa oraz stosu. Górną przegrodę jest obróconą o kąt 45° w stosunku do przegrody dolnej. Widok stosu wraz z osłoną zaprezentowano na rycinie 5.

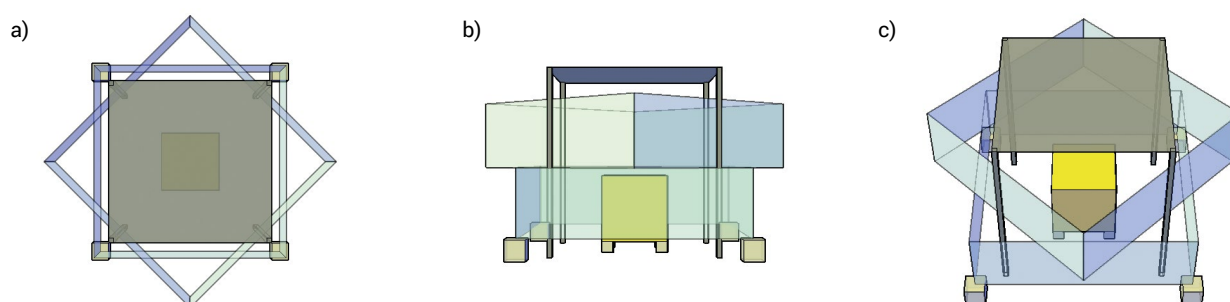


Figure 5. View of the test stack: a) top view of the stack with covers, b) front view of the stack with covers, c) front, top view of the stack inside the covers
Rycina 5. Widok stosu testowego: a) widok stosu z osłonami od góry, b) widok stosu z osłonami od frontu, c) widok stosu wewnątrz osłon od przodu, z góry

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The test procedure starts by measuring the weight of the condensed aerosol generators and the weight of the individual stacks and the moisture content of the beams that make up the stacks. The positioning of the aerosol generator should reflect the maximum limitations of the product and the most stringent claims made in the installation instructions, according to methods that should be specified in the manufacturer's documentation, most often the technical and operational documentation.

When testing Group A fires, the condensed aerosol generator(s) shall be installed on the side of the enclosure opposite the stack behind the divider (in Figure 4 on the side of stack 1). Denatured alcohol is used to ignite 113.5 g of newspaper.

In the first phase of the test, the so-called pre-combustion, the stack is left to ignite for 120 seconds. At the same time, the oxygen concentration should be measured in the test room (the room can be open). Measurements are taken at the stack heights and normatively defined heights.

The second, actual test phase begins with the closing of all openings (e.g. doors, ventilation). The exception here is the relief (bleed) dampers. At the moment of activation of the set or condensed aerosol generator(s), the percentage of oxygen in the test room should not vary by more than $\pm 0.5\%$ over the stack heights, and should therefore be in the range 20.841 to 21.050% (it is assumed that the measured oxygen content of the room should correspond to the chemical composition of the atmosphere, excluding water vapour, i.e. 20.946%⁴). It should be noted that due to the ongoing combustion process, an increase in oxygen levels is far from unlikely, but the normative requirements nevertheless indicate this possibility. During the test procedure, information on the time [s] of discharge of the extinguishing agent and the time [s] to achieve extinguishing of the piles should be recorded. The time (of aerosol discharge) can be determined in various ways, most commonly by thermocouple readings. The use of, for example, thermal imaging cameras is also acceptable⁵. Due to the way condensed aerosol generators work, visual observation will usually not be possible. In addition, the retention time (the

Procedura testowa rozpoczyna się od pomiaru masy generatorów skondensowanego aerozolu oraz masy poszczególnych stosów oraz wilgotności belek składających się na stosy. Umieszczenie generatora aerozolu powinno odzwierciedlać maksymalne ograniczenia wyrobu oraz najbardziej rygorystyczne zastrzeżenia zawarte w instrukcji instalacji, zgodnie z metodami, które powinny być określone w dokumentacji producenta, najczęściej dokumentacji techniczno-ruchowej.

Podczas badań pożarów grupy A generator(-y) skondensowanego aerozolu instaluje się po stronie obudowy przeciwnej do stosu znajdującego się za przegrodą (na ryc. 4 po stronie stosu nr 1). Do podpalenia 113,5 g gazety wykorzystuje się denaturat.

W pierwszej fazie testu tzw. spalania wstępnego, stos pozostawia się do rozpalenia na czas 120 sekund. W tym samym czasie należy dokonać pomiaru stężenia tlenu w pomieszczeniu, w którym odbywa się test (pomieszczenie może być otwarte). Pomiarów dokonuje się w miejscach na wysokości stosów oraz zdefiniowanych normatywnie wysokościach.

Druga, właściwa faza testu rozpoczyna się zamknięciem wszystkich otworów (np. drzwi, wentylacji). Wyjątek stanowią tutaj klapy odciążające (upustowe). W chwili aktywacji zestawu lub generatora(-ów) skondensowanego aerozolu zawartość procentowa tlenu w pomieszczeniu badawczym nie powinna różnić się o więcej niż $\pm 0,5\%$ na wysokości stosów, a więc powinna mieścić się w zakresie od 20,841 do 21,050% (przyjęto, że zmierzona zawartość tlenu w pomieszczeniu powinna odpowiadać składowi chemicznemu atmosfery, z wyłączeniem pary wodnej, tj. 20,946%⁴). Należy zaznaczyć, iż ze względu na trwający proces spalania, dalece mało prawdopodobny jest wzrost poziomu tlenu, niemniej jednak wymagania normatywne wskazują na taką możliwość. W trakcie procedury testowej należy zarejestrować informacje o czasie [s] wypływu środka gaśniczego oraz o czasie [s] do osiągnięcia wygaszenia stosów. Czas (wypływu aerozolu) można określić na różne sposoby, najczęściej za pomocą odczytów termopar. Dopuszcza się też wykorzystanie np. kamer termowizyjnych⁵. W związku ze sposobem działania generatorów

⁴ <https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere> National Oceanic and Atmospheric Administration.

⁵ The functional test also cites as acceptable methods, among others, the measurement of pressure during combustion of the aerosol material in the generator or the recording of the sound accompanying the discharge.

⁴ <https://www.noaa.gov/jetstream/atmosphere> National Oceanic and Atmospheric Administration.

⁵ Badanie funkcjonalne powołuje również jako dopuszczalne metody m.in. pomiar ciśnienia podczas spalania materiału aerozolutwórczego w generatorze lub rejestrację dźwięku towarzyszącego wyładowaniu.

time from the end of discharge of the system to the opening of the test room) should be recorded.

Once the triggering of the installation has started, the “observation” of the stack extinguishing should be performed (methods analogous to those described in the paragraph above). The test room at the end of the aerosol discharge should remain sealed for a further 600 seconds. After this time (known as the retention time), the stacks should be removed from the room and observed to determine whether combustion has ceased or whether there are signs of recurrence. The following must be recorded: presence and location of the heat, whether the pile (or individual beams comprising the pile) reignites (relapse). In addition, the weight of the stack after the test should be weighed and recorded. If necessary, change the extinguishing concentration and repeat the test procedure until three consecutive effective extinguishments are obtained.

Group B fire

Test fire using polymer sheets

The combustible material in the test fire is plastic:

- PMMA (poly(methyl methacrylate));

Example: windows, skylights, noise barriers;

- polypropylene;

Example: packaging film, carpeting, foam insulation;

- ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene polymer);

Example: housings for electronic equipment, e.g. domestic appliances, toys, office supplies.

skondensowanego aerozolu obserwacja wzrokowa będzie zazwyczaj niemożliwa. Ponadto należy rejestrować czas retencji (czas od zakończenia rozładowania układu do otwarcia pomieszczenia testowego).

Po rozpoczęciu procesu wyzwolenia instalacji należy dokonać „obserwacji” wygaszenia stosu (metody analogiczne jak opisano powyższym akapicie). Pomieszczenie testowe po zakończeniu wyładowania aerozolu powinno pozostać szczelnie zamknięte przez kolejne 600 sekund. Po tym czasie (tzw. czas retencji) stosy należy wyjąć z pomieszczenia i poddać obserwacji w celu ustalenia, czy spalanie ustało lub czy nie występują oznaki nawrotu palenia. Rejestracji podlega: obecność i lokalizacja żaru, czy stos (lub poszczególne wchodzące w skład stosu belki) zapali się ponownie (nawrót palenia). Ponadto należy zważyć i zarejestrować masę stosu po badaniu. Jeśli to konieczne, należy zmienić stężenie gaśnicze i powtarzać procedurę testową do momentu uzyskania trzech kolejnych skutecznych ugaszeń.

Pożar grupy B

Pożar testowy z wykorzystaniem arkuszy polimerowych

Materiałem palnym podczas pożaru testowego jest tworzywo sztuczne:

- poli(metakrylan metylu), PMMA;

Przykład: okna, świetliki, ekrany przeciwhałasowe;

- polipropylen (ang. polypropylene);

Przykład: folia opakowaniowa, wykładziny, izolacje piankowe;

- terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy, ABS (ang. acrylonitrile-butadiene-styrene polymer);

Przykład: obudowy aparatury elektronicznej np. wyposażenia AGD, zabawki, materiały biurowe.

Table 3. Plastic properties 25 kW/m². Exposure in the cone calorimeter

Tabela 3. Właściwości tworzywa sztucznego 25 kW/m². Narażenie w kalorymetrze stożkowym

Fuel / Paliwo	Colour / Kolor	Density / Gęstość	Ignition time / Czas zapalenia		Average of 180 seconds / Średnia ze 180 sekund		Effectiveness / Efektywność	
		[g/cm ³]	[s]	Tolerance / Tolerancja	Heat transfer coefficient / Współczynnik oddawania ciepła		Combustion heat / Ciepło spalania	
					kW/m ²	Tolerance / Tolerancja	MJ/kg	Tolerance / Tolerancja
PMMA	black / czarny	1.19	77	30%	286	25%	23.3	25%
Polypropylene / Polipropylen	natural to plastic – white / naturalny dla tworzywa – biały	0.905	91	30%	225	25%	39.6	25%
ABS	natural to plastic – creamy / naturalny dla tworzywa – kremowy	1.04	115	30%	484	25%	29.1	25%

Source: Own elaboration based on [19].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].

Four sheets of material, e.g. PMMA, are used for the test. The dimensions of the sheets are 405 mm [± 5 mm] high and 200 mm [± 5 mm] wide. During the test, the sheets are arranged as shown in Figure 6. The bottom of the sheets should be 203 mm from the ground. Each sheet should be subjected to a weight measurement before being positioned in the frame.

Na potrzeby badania wykorzystywane są cztery arkusze materiału np. PMMA. Wymiary arkuszy powinny wynosić 405 mm [± 5 mm] wysokości na 200 mm [± 5 mm] szerokości. Arkusze podczas badania rozmieszczone są jak na rycinie 6. Dół arkuszy powinien znajdować się na wysokości 203 mm od podłoża. Każdy z arkuszy przed ustawieniem w ramie powinien być poddany pomiarowi masy.

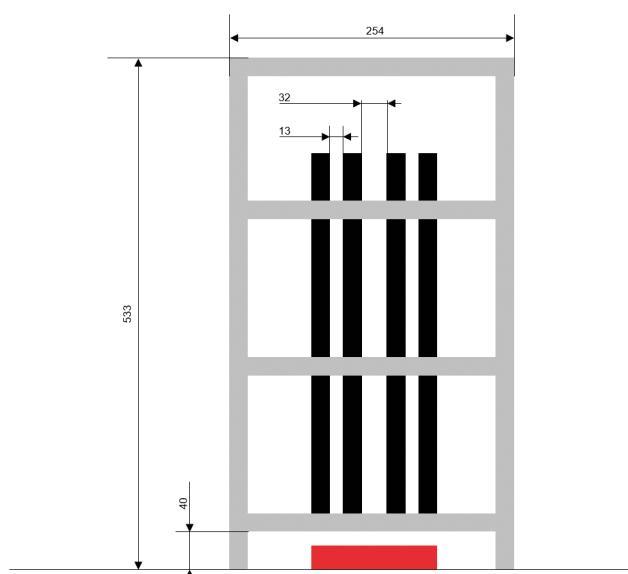


Figure 6. Simplified view of the PMMA sheet arrangement in the frame during the test fire – front view

Rycina 6. Uproszczony widok układu arkuszy PMMA w ramie podczas pożaru testowego – widok od przodu

Source: Own elaboration based on [19].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].

The PMMA mounting frame is then placed in the centre of the test stand. A cover with a height of 850 mm and a width of 380 mm is set above the mounting frame. The shield has only side walls (parallel to the PMMA) and a top plane. In the next step, a bottom divider (950 mm square) is set on four 90 x 90 x 90 mm blocks. The bottom divider is positioned so that its walls are parallel to the PMMA mounting frame cover. The top divider is then positioned on top of the bottom divider, rotated 45 degrees to the bottom divider. The bottom and top divider are 305 mm high. A view of the complete stand prepared for the test is shown in Figure 7.

Następnie rama montażowa z PMMA umieszczana jest na środku stanowiska testowego. Nad ramą montażową ustawiana jest osłona o wysokości 850 mm oraz szerokości 380 mm. Osłona posiada tylko ściany boczne (równoległe do PMMA) oraz płaszczyznę górną. W następnym kroku na czterech blokach o wymiarach 90 x 90 x 90 mm ustawiana jest przegroda zewnętrzna dolna (kwadrat o boku 950 mm). Przegroda dolna ustawiana jest w taki sposób, aby jej ściany były równoległe do osłony ramy montażowej PMMA. Następnie na przegrodzie zewnętrznej dolnej ustawiana jest przegroda zewnętrzna górna, obrócona wobec przegrody dolnej o 45 stopni. Przegrody dolna oraz górna mają wysokość 305 mm. Widok kompletnego stanowiska przygotowanego do badania przedstawiono na rycinie 7.

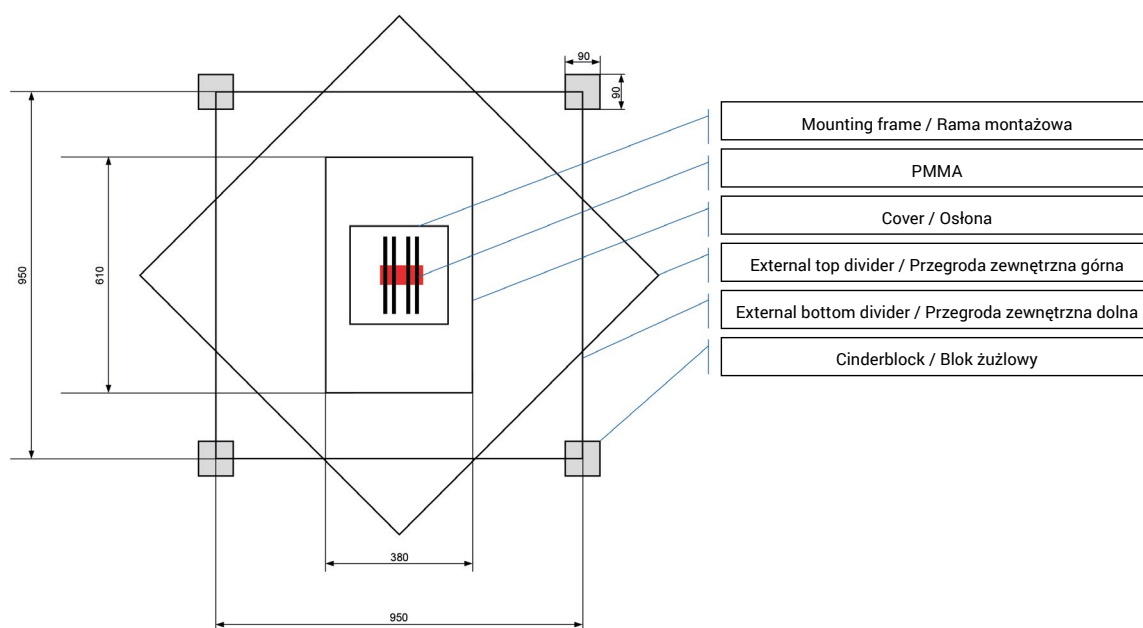


Figure 7. View of the PMMA frame set up inside the casing and divider of the test fire – top view
Rycina 7. Widok ramy z PMMA ustawionej wewnątrz osłony i przegród pożaru testowego – widok od góry

Source: Own elaboration based on [19].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].

The source of the fire from which the plastic is occupied is a mixture of 40 ml of water and 6 ml of heptane. The mixture is placed in a container measuring 51 x 112 mm and 21 mm high. The container should be made of steel and placed directly under the combustible material. The test begins by igniting the container with the mixture of n-heptane and water. After 210 seconds (during which time the test chamber remains open, providing a normal supply of air), the test chamber is closed and the system is released.

At the time of triggering, the oxygen level measured at the height of the fuel (PMMA) should not drop below 0.5 % by volume compared to its normal concentration in the atmosphere (20.5%). The differences in oxygen levels resulting from the combustion of the material throughout the test must not exceed 1.5 % by volume. These differences are determined by comparing the values from the fire test and the so-called cold discharge, during which no material burns. After triggering the generator, the test chamber remains closed for 10 minutes. This time is counted from the end of the discharge. The chamber is then opened after 10 minutes. Subsequently, the PMMA is checked for the presence of burning, it is verified whether there is a recurrence of burning, and finally the mass (its loss) of the material after the test is verified.

Group C fire

The test procedure associated with the performance evaluation for Group C fires (gas fires) involves using a burner filled with two layers of sand and gravel. During the test, a controlled

Źródłem ognia, od którego zajmuje się tworzywo sztuczne, jest mieszanina 40 ml wody oraz 6 ml heptanu. Mieszanina umieszczona jest w pojemniku o wymiarach 51 x 112 mm oraz wysokości 21 mm. Pojemnik powinien być wykonany ze stali i umieszczony bezpośrednio pod materiałem palnym. Badanie rozpoczyna się od podpalenia zbiornika z mieszaniną n-heptanu oraz wody. Po 210 sekundach (w tym czasie komora badawcza pozostaje otwarta, zapewniając normalny dopływ powietrza) komora badawcza zostaje zamknięta, a system – wyzwolony.

W momencie wyzwolenia poziom tlenu mierzony na wysokości paliwa (PMMA) nie powinien spaść poniżej 0,5% objętościowego w porównaniu do normalnej jego koncentracji w atmosferze (20,5%). Różnice w poziomie tlenu wynikające ze spalania materiału podczas całego testu nie mogą przekraczać 1,5% objętości. Różnice te określa się na podstawie porównania wartości z testu pożarowego oraz tzw. zimnego wyładowania, podczas którego nie spala się żaden materiał. Po wyzwoleniu generatora komora badawcza pozostaje zamknięta przez 10 minut. Czas ten liczony jest od końca wyładowania. Następnie po upływie 10 minut komora jest otwierana. W dalszej kolejności sprawdzaniu podlega PMMA na okoliczność występowania palenia, weryfikowane jest, czy następuje nawrót palenia oraz końcowo weryfikowana jest masa (jej ubytek) tworzywa po badaniu.

Pożar grupy C

Procedura badawcza związana z oceną skuteczności dla pożarów grupy C (pożary gazów) zakłada wykorzystanie palnika wypełnionego dwiema warstwami piasku i żwiru. Podczas testu

volume of propane is blown through the sand burner⁶. After activation, the gas should have a heat output of 30 kW. The total burning time should be 120 seconds.

The objects to be extinguished shall be placed in the centre of the test room at floor level. The extinguishing generators should be installed in accordance with the specifications and arranged as specified by the manufacturer.

After the discharge has been completed, the test room should remain closed for at least 600 seconds. During this time, the test specimen should be monitored for signs of fire and smoke recurrence (using temperature measurements). After this time, visual inspection should be made for signs of flame and signs of activation without the presence of an extinguishing agent (aerosol). Any signs of fire should be described in the test report. The temperature after extinguishing is the determining factor. Visible fire is considered a sign of spontaneous activation, but smoke alone is not.

Functional test

The discharge time is the recorded value that makes up the functional test. The discharge time should be understood as the time measured from the activation of the condensed aerosol generator (generator response to an externally applied signal) to the end of the discharge. This time should be declared by the manufacturer, but should not (must not) be more than 90 seconds. The discharge time should be measured using thermocouples recording temperature changes at the beginning and end of the discharge or by recording the discharge infrared, measuring the pressure in the test chamber while the generator is burning, or recording the sound accompanying the discharge. Two techniques can be used to increase the accuracy of the measurement: temperature measurement and sound pressure level measurement. Combinations of measurement techniques can be arbitrary. Where appropriate, video footage can be correlated with SPL (sound pressure level) measurements and temperatures recorded by thermocouples.

The second component recorded during the functional test is the temperature of the aerosol. Aerosol flow temperatures should be measured using appropriate thermocouples. To measure the temperature, at manufacturer-specified minimum intervals appropriate for 75°C, 200°C and 400°C, an array of thermocouples is used which are arranged in the shape of a cross, with the centre of each cross aligned with the centre of the generator outlet and the ends of the cross aligned with the conical outlet path. In order to minimise the effect of aerosol flow on temperature readings, the crosses may be rotated relative to each other. It is also acceptable to use five thermocouples – one in the centre of the cross and four at its ends. In this configuration, the three highest readings of the five are taken for recording. The thermocouple array is presented in Figure 8.

In addition, the temperature on the outside of the generator housing is measured and recorded during the discharge. An array of thermocouples can also be used to measure the temperature

kontrolowana objętość propanu jest wdmuchiwana przez palnik piaskowy⁶. Po aktywacji gaz powinien mieć moc cieplną 30 kW. Całkowity czas palenia powinien wynosić 120 sekund.

Obiekty przeznaczone do gaszenia umieszcza się na środku pomieszczenia testowego na poziomie podłogi. Generatory gaśnicze powinny być zainstalowane zgodnie ze specyfikacją oraz rozmieszczone w sposób określony przez producenta.

Po zakończeniu wyładowania pomieszczenie testowe powinno pozostać zamknięte przez co najmniej 600 sekund. W tym czasie należy monitorować próbkę pod kątem oznak ognia i nawrotu palenia (wykorzystując do tego pomiary temperatury). Po tym czasie należy dokonać oględzin wizualnych pod kątem oznak płomienia i oznak aktywacji bez obecności środka gaśniczego (aerosolu). Wszelkie oznaki pożaru należy opisać w protokole z badania. Temperatura po ugaszeniu jest czynnikiem decydującym. Widoczny ogień jest uznawany za oznakę spontanicznej aktywacji, ale sam dym już nie.

Badanie funkcjonalne

Czas wyładowania jest wartością rejestrowaną, która składa się na badanie funkcjonalne. Poprzez czas wyładowania należy rozumieć czas mierzony od momentu aktywacji generatora skondensowanego aerosolu (reakcji generatora na podany z zewnątrz sygnał) do końca wyładowania. Czas ten powinien być zadeklarowany przez producenta, lecz nie powinien (nie może) wynosić więcej niż 90 sekund. Czas wyładowania należy mierzyć przy użyciu termopar rejestrujących zmiany temperatury na początku i na końcu rozładowania lub poprzez nagrywanie wyładowania w podczerwieni, pomiar ciśnienia w komorze testowej podczas spalania generatora lub rejestrację dźwięku towarzyszącego wyładowaniu. Dla zwiększenia dokładności pomiaru mogą być wykorzystane dwie techniki: pomiar temperatury oraz pomiar poziomu ciśnienia akustycznego. Kombinacje technik pomiarowych mogą być dowolne. W uzasadnionych przypadkach można skorelować materiał wideo z pomiarem SPL (ang. *sound pressure level*) oraz temperaturami zarejestrowanymi przez termopary.

Drugą z rejestrowanych składowych podczas badania funkcjonalności jest temperatura aerosolu. Temperatury przepływu aerosolu powinno mierzyć się za pomocą odpowiednich termopar. Do pomiaru temperatury, w określonych przez producenta minimalnych odstępach właściwych dla 75°C, 200°C oraz 400°C, stosuje się układ termopar, które ustawione są w kształcie krzyża, przy czym środek każdego krzyża powinien znajdować się w jednej linii ze środkiem wylotu generatora, zaś jego końce – w stożkowej ścieżce wylotowej. W celu zminimalizowania oddziaływania przepływu aerosolu na odczyty temperatury krzyże mogą być obracane względem siebie. Dopuszcza się również wykorzystanie pięciu termopar – jednej w środku krzyża i czterech na jego końcach. W takiej konfiguracji do zapisu pobiera się trzy najwyższe odczyty z pięciu. Układ termopar zaprezentowano na rycinie 8.

Ponadto podczas wyładowania mierzona oraz rejestrowana jest temperatura na zewnętrznej stronie obudowy generatora.

⁶ The gas burner used in the test procedure should be equipped with a thermal switch that independently interrupts the gas flow when the burner is extinguished.

⁶ Palnik gazowy wykorzystywany w procedurze badawczej powinien być wyposażony w wyłącznik termiczny, który niezależnie przerywa przepływ gazu, gdy palnik jest zgaszony.

of the outside of the generator housing, which this time must be adjacent to the housing. The installation locations of thermocouples should be selected so that they are placed at the locations with the expected highest temperature.

Do pomiaru temperatury zewnętrznej obudowy generatora również można użyć układu termopar, które tym razem muszą przylegać do obudowy. Miejsca instalacji termopar należy dobrać w taki sposób, aby były umieszczone w miejscach o przewidywanej najwyższej temperaturze.

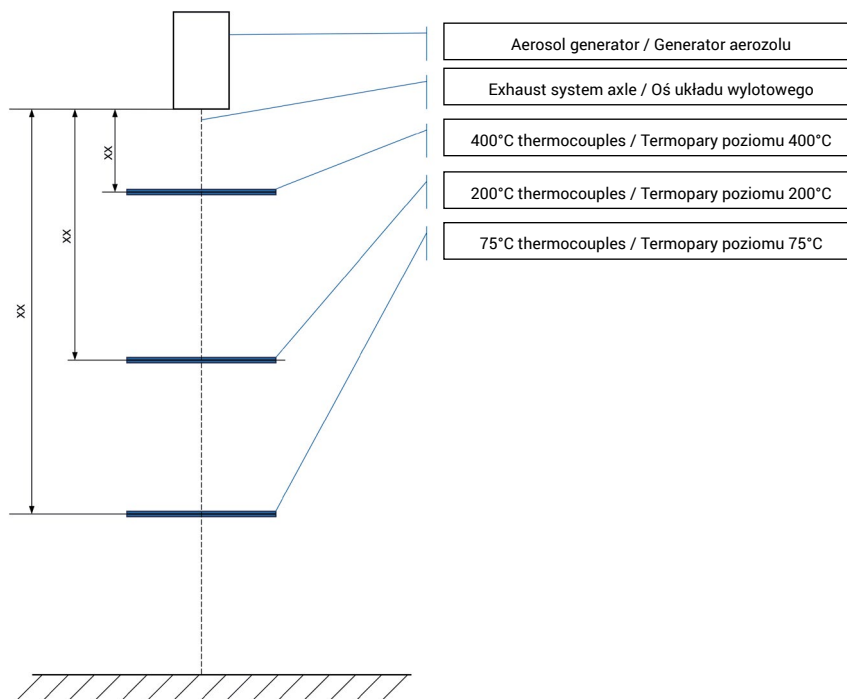


Figure 8. Simplified generator layout during functional test. Front view

Rycina 8. Uproszczony układ generatora podczas badania funkcjonalnego. Widok od przodu

Source: Own elaboration based on [19].

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].

The functional test procedure involves the discharge of condensed aerosol in the generator test chamber, previously conditioned for sixteen hours at 21°C (±4°C).

Procedura testowa badania funkcjonalności obejmuje wyładowanie w komorze testowej generatora skondensowanego aerozolu, uprzednio kondycjonowanego przez szesnaście godzin w temperaturze 21°C (±4°C).

Generator efficiency

Efficiency is an assessment of the effective mass of extinguishing agent discharged per generator, which provides the actual quantity (concentration) of aerosol extinguishing agent in the protected area (volume). Concentration should therefore be understood as the effective minimum mass of extinguishing agent discharged per unit volume of protected area (cubic volume) that is required to extinguish a fire involving a given fuel under specified experimental conditions. The concentration is measured in grams per cubic metre [g/m³] according to the following formula:

$$\text{effectiveness} = \frac{M_b - M_a}{M_c} \times 100 \quad (1)$$

Where:

M_b – mass [g] of aerosol generator before activation;

Wydajność generatora

Poprzez wydajność należy rozumieć ocenę efektywnej masy wyładowanego środka gaśniczego na generator, która zapewnia rzeczywistą ilość (stężenie) aerozolowego środka gaśniczego w chronionym obszarze (kubaturze). Stężenie powinno być zatem rozumiane jako efektywna minimalna masa uwolnionego środka gaśniczego na jednostkę objętości chronionego obszaru (kubatury), która jest wymagana do ugaszenia pożaru z udziałem danego paliwa w określonych warunkach eksperymentalnych. Stężenie mierzone jest w gramach na metr sześcienny [g/m³] wg poniższego wzoru:

$$\text{efektywność} = \frac{M_b - M_a}{M_c} \times 100 \quad (1)$$

Gdzie:

M_b – masa [g] generatora aerozolu przed aktywacją;

Ma – mass [g] of aerosol generator after discharge;
 Mc – mass [g] of aerosol material in the generator (as specified by the manufacturer);
 Effectiveness – the actual amount of aerosolised extinguishing agent in the protected area after discharge.

The laboratory extinguishing concentration is the value that ensures satisfactory extinguishing of the fire in three consecutive tests (no presence of burning embers or re-ignition within 600 seconds of the end of the discharge). It is calculated by dividing the total effective mass of the extinguishing agent of the generator by the volume of the test room.

Ma – masa [g] generatora aerozolu po wyładowaniu;
 Mc – masa [g] materiału aerozolutwórczego w generatorze (zgodnie ze specyfikacją producenta);
 Efektywność – rzeczywista ilość aerozolowego środka gaśniczego w chronionym obszarze po wyładowaniu.

Laboratoryjne stężenie gaśnicze to wartość, która zapewnia zadowalające ugaszenie pożaru w trzech kolejnych badaniach (brak płonącego żaru lub ponownego zapłonu w czasie 600 sekund od zakończenia wyładowania). Oblicza się je, dzieląc całkowitą masę efektywną środka gaśniczego generatora przez objętość pomieszczenia testowego.

Table 4. Functional test conditions
Tabela 4. Warunki badań funkcjonalnych

Parameter / Parametr	Requirement / Wymaganie	Tolerance / Tolerancja
Visual assessment / Ocena wizualna	During discharge: No flames emanating from the housing outlet system / Podczas wyładowania: Brak płomieni wydobywających się z układu wylotowego obudowy	Not applicable / Nie dotyczy
Discharge / Czas wyładowania	According to the manufacturer's specifications / Zgodnie ze specyfikacją producenta	5 seconds $\pm$ 20% or $\pm$ 5 seconds (greater value decides / 5 sekund $\pm$ 20% lub $\pm$ 5 sekund (decyduje większa wartość)
Temperatures at specified minimum intervals for 75°C, 200°C and 400°C / Temperatury przy określonych minimal- nych odstępach dla 75°C, 200°C oraz 400°C	According to the manufacturer's specifications / Zgodnie ze specyfikacją producenta	Not applicable / Nie dotyczy
Housing temperature / Temperatura obudowy	According to the manufacturer's specifications / Zgodnie ze specyfikacją producenta	Not applicable / Nie dotyczy
Discharged aerosol mass / Masa wyładowanego aerozolu	Measurement difference of the generator mass before and after activation / Różnica pomiaru masy generatora przed aktywacją i po wyładowaniu	+5%

Source: Own elaboration based on [19].
 Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].

Mechanical impact resistance test (free fall test)

The test is designed to simulate a realistic event associated with a high force impact on the generator. The purpose of the test is to demonstrate that a condensed aerosol generator exposed exposure, e.g. from a fall, will behave in an appropriate manner (i.e. no unintentional discharge occurs during exposure and that its parameters are maintained after exposure).

Test should be carried out inside suitably protected test facilities, bearing in mind that an extreme negative test result could be the triggering of an aerosol generator. The impact surface

Badanie odporności na udary mechaniczne (próba spadku swobodnego)

Badanie ma na celu symulować realistyczne zdarzenie związane z uderzeniem z dużą siłą w generator. Celem badania jest wykazanie, że generator skondensowanego aerozolu wystawiony na narażenie związane np. z upadkiem zachowa się w odpowiedni sposób (tj. podczas narażenia nie nastąpi niezamierzone wyładowanie oraz że po narażeniu zostaną zachowane jego parametry).

Badanie należy przeprowadzać wewnątrz odpowiednio zabezpieczonych pomieszczeń badawczych, mając na uwadze, iż skrajnie negatywnym wynikiem badania może być wyzwolenie

should be a solid base – as defined in the test methodology – with a reasonably smooth surface. An example of such a “reasonably smooth surface” could be a steel plate at least 75 mm thick. The plate should have Brinell hardness of not less than 200 mm. Brinell hardness is determined in accordance with Polish Standard PN-EN ISO 6506-1:2014-12 *Metals – Measurement of Brinell hardness – Part 1 Testing method*. The measurement consists of pressing an indenter, in the form of a hardened steel ball or a carbide ball of diameter D , into the surface of the material under test for a specified time with a specified force. Brinell hardness [HB] defines the ratio of the force P pushing the indenter to the area A of the permanent indentation that will form a spherical bowl on the surface of the material [20]. The plate during the test should be set on a concrete foundation with a minimum thickness of 600 mm. The hardness of the plate in the test, in addition to the height from which the test is carried out, is one of the key aspects, as it is supposed to influence the acceptance of the entire force of the device on itself.

The condensed aerosol generator is dropped from 2 metres, the height is determined from the impact surface to the nearest point or to the surface of the generator. In addition to the height, the standard [19] does not specify the alignment of the generator, which should be considered as lacking in the described test methodology. It should therefore be considered, bearing in mind the construction of a particular generator, to adopt several generator positions during testing or to determine the worst position for a given generator type. The result of the test is considered positive after the functional test. The proposed generator layout during the mechanical impact resistance test is presented in Figure 9.

It should be noted that the figure does not exhaust all possibilities. Lack in the methodology, at its extreme, could result in an excessive number of tests (the generator can be rotated every 15°, for example), affecting their cost, time and the number of samples needed for this one test. Regardless of the test results that are carried out during the conformity assessment process and the manufacturer's declaration of a positive result, under no circumstances should a generator that, for example, has fallen during installation at height, be installed.

działania generatora aerozolu. Powierzchnia uderzenia powinna być solidną podstawą – jak określono w metodyce badawczej – o rozsądnie gładkiej powierzchni. Przykładem takiej „rozsądnie gładkiej powierzchni” może być stalowa płyta o grubości nie mniejszej niż 75 mm. Twardość płyty w skali Brinella nie powinna być mniejsza niż 200 mm (ang. [...] *and Brinell hardness of not less than 200 mm*). Twardość metodą Brinella określa się wg Polskiej Normy PN-EN ISO 6506-1:2014-12 *Metale – Pomiar twardości sposobem Brinella – Część 1: Metoda badania*. Pomiar polega na wciskaniu określoną siłą wgłębnika, w postaci hartowanej kulki stalowej lub kulki z węglików spiekanych o średnicy D , w powierzchnię badanego materiału w określonym czasie. Twardość Brinella [HB] określa stosunek siły P wciskającej wgłębnik do pola A trwałego odcisku, który w postaci czaszy kulistej utworzy się na powierzchni materiału [20]. Płyta podczas badania powinna być osadzona na betonowym fundamencie o minimalnej grubości 600 mm. Twardość płyty w badaniu, poza wysokością, z jakiej dokonuje się badania, jest jednym z kluczowych aspektów, ma ona bowiem wpłynąć na przyjęcie całej siły urządzenia na siebie.

Generator skondensowanego aerozolu zrzucany jest z wysokości 2 metrów, przy czym wysokość określana jest od powierzchni uderzenia do najbliższego punktu lub do powierzchni generatora. Norma [19], oprócz wysokości, nie określa ułożenia generatora, co należy uznać za brak w opisanej metodyce badawczej. Należy zatem rozważyć, mając na uwadze budowę konkretnego generatora, aby podczas badań przyjąć kilka położeń generatora lub określić najgorsze położenie dla danego typu generatora. Wynik badania uznaje się za pozytywny po przeprowadzeniu badania funkcjonalności. Proponowany układ generatora podczas badania odporności na udary mechaniczne zaprezentowano na rycinie 9. Należy zwrócić uwagę, iż rycina nie wyczerpuje wszystkich możliwości. Brak w metodyce, w swojej skrajności, mógłby skutkować nadmierną liczbą badań (generator można np. obracać co 15°), wpływając na ich koszt, czas i liczbę próbek niezbędną na potrzeby tego jednego badania. Niezależnie od wyników badań, które są realizowane w procesie oceny zgodności i deklaracji producenta o pozytywnym ich wyniku, w żadnym wypadku nie należy podejmować się instalowania generatora, który np. upadł podczas instalacji na wysokości.

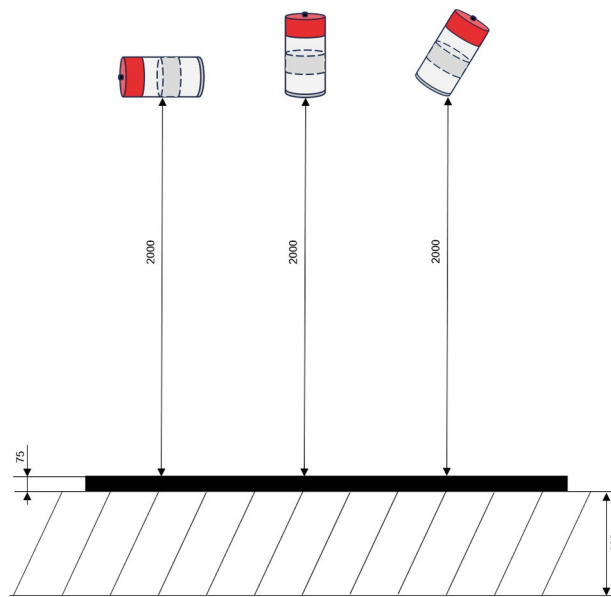


Figure 9. Simplified layout of the generator during the mechanical impact resistance test – front view
Rycina 9. Uproszczony układ generatora podczas badania odporności na uderzenia mechaniczne – widok od przodu
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Open fire exposure test

The test is designed to simulate a realistic fire event. The purpose of the open fire exposure test is to demonstrate that a condensed aerosol generator exposed to a relatively short duration fire will behave in an appropriate manner (i.e. no unintentional discharge will occur during exposure and that its performance will be maintained after exposure).

The test is carried out indoors. Above all, unwanted factors (e.g. draught) that could distort the flame shape and thus reduce exposure should be prevented from affecting the test. Each sample should be subjected to a mass measurement before testing. The specimen should then be installed in the mounting bracket so that the bottom of the generator (predominantly the housing outlet system) is 915 ± 15 mm above the bottom of the tray filled to half its height with n-heptane⁷. The square-shaped tray should have a side length of 500 mm and a corresponding area of 0.25 m^2 . The height of the tray wall should be 100 mm, the thickness of the wall should be 6 mm.

For the test, the tray is filled to a height of no less than 25 mm, which represents 6.250 litres of heptane. The heptane is then ignited and should burn for at least 60 seconds. After exposure to fire, the aerosol generator sample should be discharged according to the functional test procedure.

The test (a simplified view of the sample tray arrangement is shown in Figure 10) is considered to be successfully completed when the exposed sample meets three conditions during the functional test:

- the sample is operating as intended and
- the discharge time is within 20 % or ± 5 seconds of the

⁷ C7H16, melting/solidification point: min. -90°C , boiling point: max. 100°C , density at 15.6°C : $700 [\pm 50] \text{ kg/m}^3$ (0.7 g/cm^3).

Badanie narażenia na otwarty ogień

Badanie ma na celu symulować realistyczne zdarzenie pożarowe. Celem badania narażenia na otwarty ogień jest wykazanie, że generator skondensowanego aerozolu wystawiony na relatywnie krótkotrwałe działanie ognia zachowa się w odpowiedni sposób (tj. podczas narażenia nie nastąpi niezamierzone wyładowanie oraz że po narażeniu zostaną zachowane jego parametry).

Badanie przeprowadza się wewnątrz pomieszczenia. Przede wszystkim należy zapobiec wpływowi na badanie niepożądanych czynników (np. przeciąg), które mogłyby zniekształcić płomień, a tym samym zmniejszyć narażenie. Każda próbka przed badaniem powinna zostać poddana pomiarowi masy. Następnie próbkę należy zainstalować w uchwycie montażowym w taki sposób, aby dolna część generatora (przeważanie układ wylotowy obudowy) znajdowała się na wysokości 915 ± 15 mm nad dnem tacy wypełnionej do połowy swojej wysokości n-heptanem⁷. Taca o kształcie kwadratu powinna mieć bok o długości 500 mm i odpowiednio powierzchnię równą $0,25 \text{ m}^2$. Wysokość ścian tacy powinna wynosić 100 mm, grubość ścian – 6 mm.

Na potrzeby badania taca jest wypełniana do wysokości nie niższej niż 25 mm, co stanowi 6,250 litra heptanu. Następnie heptan jest zapalany i powinien palić się przez co najmniej 60 sekund. Po ekspozycji na ogień, próbka generatora aerozolu powinna zostać rozładowana zgodnie z procedurą badania funkcjonalności.

Badanie (uproszczony widok układu próbki z tacą przedstawiono na rycinie 10) uznaje się za zakończone z wynikiem pozytywnym po spełnieniu przez poddaną narażeniu próbkę trzech warunków podczas badania funkcjonalności:

⁷ C7H16, temperatura topnienia / krzepnięcia: min. -90°C , temperatura wrzenia: maks. 100°C , gęstość przy $15,6^\circ\text{C}$: $700 [\pm 50] \text{ kg/m}^3$ ($0,7 \text{ g/cm}^3$).

- mean discharge time determined at $21^{\circ}\text{C} (\pm 4^{\circ}\text{C})$ during the functional test, and
- the quantity discharged is at least 90% of the average quantity discharged at $21^{\circ}\text{C} (\pm 4^{\circ}\text{C})$ in the functional test. For this purpose, each sample, as mentioned in the introduction, is subjected to a measurement of its mass prior to the test. Factor loss is defined as the difference between the mass of the generator after the test and the mass of the sample measured before the test.
 - próbka działa zgodnie z przeznaczeniem oraz
 - czas rozładowania mieści się w granicach 20% lub ± 5 sekund średniego czasu rozładowania określonego w temperaturze $21^{\circ}\text{C} (\pm 4^{\circ}\text{C})$ w badaniu funkcjonalności oraz
 - ilość wyładowanego czynnika wynosi co najmniej 90% średniej ilości wyładowywanego czynnika w temperaturze $21^{\circ}\text{C} (\pm 4^{\circ}\text{C})$ w badaniu funkcjonalności. W tym celu każda próbka, jak wspomniano na wstępie, przed badaniem poddawana jest pomiarowi swojej masy. Ubytek czynnika określa się jako różnicę masy generatora po badaniu oraz masy próbki zmierzonej przed badaniem.

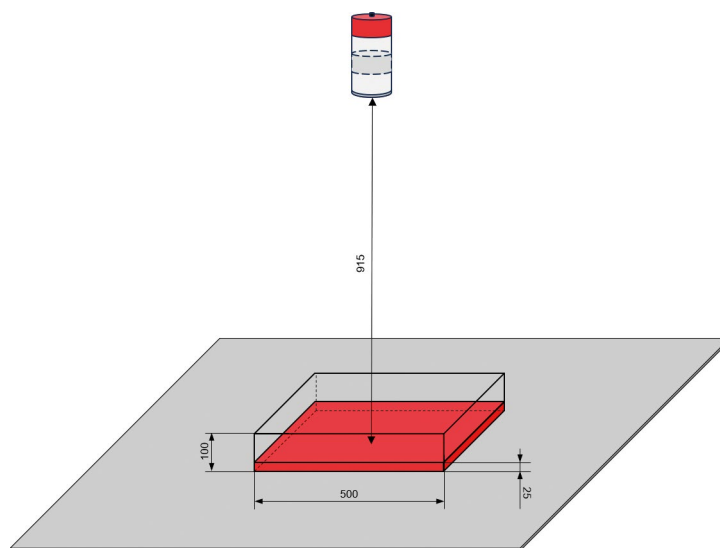


Figure 10. Simplified view during the fire exposure test
Rycina 10. Uproszczony widok podczas badania narażenia na ogień
Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

Conclusions

The list of halons in the Montreal Protocol included three common fire extinguishing agents: bromochlorodifluoromethane – Halon 1211, dibromotetrafluoroethane – Halon 2402 and bromotrifluoromethane – Halon 1301, whose relative ozone depletion potential (ODP) is 3, 6 and 10, respectively. Condensed aerosol generators provide suppression and quenching mechanisms without ODP ozone depletion potential. They also have no global warming potential (GWP). Condensed aerosol generators, which are a key component of aerosol fire extinguishing systems, represent, alongside other fire protection systems, not only the safety of the buildings themselves, but mainly affect the safety of their occupants, by stopping the fire in the extinguishing zone for the time necessary for the arrival of the emergency services. In this context, the paper discusses selected laboratory tests performed as part of the assessment and verification of constancy of performance. The tests carried out by national

Podsumowanie

Lista halonów w Protokole Montrealskim obejmowała trzy popularne środki gaśnicze: bromochlorodifluorometan – Halon 1211, dibromotetrafluoroetan – Halon 2402 oraz bromotrifluorometan – Halon 1301, których względny potencjał niszczenia ozonu (ang. *ozone depletion potential*, ODP) wynosi odpowiednio 3, 6 oraz 10. Generatory skondensowanego aerozolu zapewniają mechanizmy tłumienia oraz gaszenia, nie mając potencjału niszczenia warstwy ozonowej ODP. Nie mają również potencjału globalnego ocieplenia (ang. *global warming potential*, GWP). Generatory skondensowanego aerozolu, będące kluczowym podzespołem aerozolowych zestawów gaśniczych, stanowią obok innych systemów przeciwpożarowych, nie tylko o bezpieczeństwie samych obiektów budowlanych, ale głównie wpływają na bezpieczeństwo ich użytkowników, poprzez zatrzymanie pożaru w strefie gaśniczej przez czas konieczny do przybycia odpowiednich służb ratowniczych. W tym kontekście omówiono w artykule wybrane badania laboratoryjne,

technical assessment bodies are one of the steps in the verification of the effectiveness of the equipment, so that the end-user has no doubts about the effectiveness of the equipment under the given fire risk conditions.

The paper presents a methodology for testing fire-extinguishing effectiveness, proposes a method for testing mechanical shock resistance, which is a refinement of the conditions described in the Polish Standard and attention is drawn to the test of exposure to open fire, specifying which conditions may distort the test result.

Regardless of the effectiveness of the systems themselves, an important aspect of safety is the knowledge of the owners and managers of buildings equipped with this type of fixed fire-fighting system of the principle of operation and thus the conditions that will be created at the site of a fire, which mainly include the almost total lack of visibility and an atmosphere filled with released aerosol, the increase in temperature (especially near the generator), as well as the increase in pressure during the discharge.

A separate issue from the actual effectiveness of the device remains its correct application, so it will be crucial in the next stages of the work to define the basics related to the connection of the generators to the installation forming the fixed fire-fighting system, to identify and describe the issues related to design, installation and maintenance, and to determine the risks related to the potential exposure of the users of structures being built to the extinguishing aerosol.

wykonywane w ramach oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych. Badania realizowane przez krajowe jednostki oceny technicznej są jednym z etapów weryfikacji skuteczności urządzeń, tak aby użytkownik końcowy nie miał wątpliwości co do skuteczności urządzenia w danych warunkach związanych z zagrożeniem pożarowym.

W artykule przedstawiono metodykę badania skuteczności gaśniczej, zaproponowano sposób badania odporności na uderzenia mechaniczne, który jest doprecyzowaniem warunków opisanych w Polskiej Normie oraz zwrócono uwagę na badanie narażenia na otwarty ogień, doprecyzowując, jakie warunki mogą wpłynąć na zniekształcenie wyniku badania.

Niezależnie od skuteczności samych systemów, ważnym aspektem bezpieczeństwa jest wiedza właścicieli i zarządców obiektów budowlanych wyposażonych w tę odmianę stałego urządzenia gaśniczego na temat jego zasady działania, a tym samym warunków, jakie zostaną wytworzone w miejscu pożaru, do których w głównej mierze zaliczyć należy niemalże całkowity brak widoczności oraz atmosferę wypełnioną uwolnionym aerozolem, wzrost temperatury (szczególnie w pobliżu generatora), a także przyrost ciśnienia w czasie wyładowania.

Kwestią odrębną od faktycznej skuteczności urządzenia pozostaje jego prawidłowe zastosowanie, dlatego na dalszych etapach prac kluczowe będzie określenie podstaw związanych z połączeniem generatorów z instalacją tworzącą stałe urządzenie gaśnicze, określenie i opisanie zagadnień związanych z projektowaniem, instalowaniem i konserwacją oraz ustalenie zagrożeń związanych z potencjalnym narażeniem użytkowników obiektów budowlanych na aerosol gaśniczy.

Abbreviations

ABS	– acrylonitrile-butadiene-styrene polymer
CFC	– chlorofluorocarbons
CNBOP-PIB	– Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute
CSG	– fire extinguishing control
CSUP	– fire extinguishing control panel
EFTA	– European Free Trade Association
EOT	– European technical assessment
GWP	– global warming potential
ITB	– Building Research Institute
LPCB	– The Loss Prevention Certification Board
NFPA	– The National Fire Protection Association
ODP	– ozone depletion potential
PMMA	– poly(methyl methacrylate)
SPL	– sound pressure level
SUG-A	– fixed fire-fighting system – aerosol
UL	– Underwriters Laboratories
USiS	– control and indicating device

Skróty

ABS	– terpolimer akrylonitrylo-butadieno-styrenowy
CFC	– chlorofluorowęglowodory
CNBOP-PIB	– Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej – Państwowy Instytut Badawczy
CSG	– centrala sterowania gaszeniem
CSUP	– centrala sterująca urządzeniem przeciwpożarowym
EFTA	– Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu
EOT	– europejska ocena techniczna
GWP	– potencjał globalnego ocieplenia
ITB	– Instytut Techniki Budowlanej
ODP	– potencjał niszczenia ozonu
PMMA	– poli(metakrylan metylu)
SPL	– poziom ciśnienia akustycznego
SUG-A	– stałe urządzenie gaśnicze – aerozole
USiS	– urządzenie sterujące i sygnalizujące

Literature / Literatura

- [1] *The Montreal Protocol on Substances That Deplete the Ozone Layer*, U.S. Department of State, Office of Environmental Quality, <https://www.state.gov/key-topics-office-of-environmental-quality-and-transboundary-issues/the-montreal-protocol-on-substances-that-deplete-the-ozone-layer/> [dostęp: 20.10.2023].
- [2] Curtin R., Williams S., *Analysis of Gaseous Fire Suppression Systems in Australia*, Fire Protection Association Australia, Version 5.0, 6.03.2018.
- [3] *Maintenance of condensed aerosol fire extinguishing systems/equipment controlled by electronic detection systems*, Euralarm Guidance, V1.0-EN, April 2023.
- [4] Polska Norma PN-EN 2:1998+A1:2006, Podział pożarów.
- [5] NFPA 2010:2020 Standard for Fixed Aerosol Fire-Extinguishing Systems.
- [6] NFPA 10:2022 Standard for Portable Fire Extinguishers.
- [7] The Fire Safety Advice Centre, <https://www.firesafe.org.uk/information-about-the-fire-triangletetrahedron-and-combustion/> [dostęp: 20.10.2023].
- [8] Standard CNBOP-PIB-BU01P2017 Proszki gaśnicze, wyd. 1., CNBOP-PIB, Józefów 2017.
- [9] *Podstawowe pojęcia dot. pożarów*, Uniwersytet w Saragossie, <https://uprl.unizar.es/seguridad-laboral/nociones-basicas-sobre-incendios> [dostęp: 20.10.2023].
- [10] EN ISO 13943:2023 Fire Safety – Vocabulary.
- [11] Rohilla M., Saxena A., Tyagi Y.K., Singh I., *Condensed Aerosol Based Fire Extinguishing System Covering Versatile Applications – A Review*, "Fire Technology", 2022, 58, 1, <https://doi.org/10.1007/s10694-021-01148-4>.
- [12] McNaught A.D., Wilkinson A., *Compendium of Chemical Terminology (Gold Book)*, Chalk S.J. (akt.), *International Union of Pure and Applied Chemistry*, wyd. 2, Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1997, <https://doi.org/10.1351/goldbook.A00176>.
- [13] Sobczyk L., Kiszka A., *Chemia fizyczna dla przyrodników*, PWN, 1981.
- [14] Goode T., *Machinery Space Fire Fighting – Modern Alternatives*, w: *Proceedings of the International Naval Engineering Conference & Exhibition (INEC)*, 14th International Naval Engineering Conference & Exhibition (INEC), Glasgow, 3.10.2018, <https://doi.org/10.24868/issn.2515-818X.2018.025>.
- [15] Biel M.M., *Nowoczesne środki gaśnicze i ich skuteczność działania*, Rozprawa doktorska, AGH, Kraków 2022.
- [16] Wilczkowski S., *Działania inhibicyjne wybranych związków chemicznych stosowanych w środkach gaśniczych*, „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” 2010, 3.
- [17] *Condensed Aerosol Fire Extinguishing Systems*, Allianz Risk Consulting, Tech Talk, Volume 15, Wyd. Allianz Global Corporate & Specialty SE, Reference TT 15/22/12, August 2018.
- [18] Izak P., Kidoń A., Mastalarska-Popławska J., *Mechanizm działania aerozolu gaśniczego*, BITP Vol. 46 Issue 2, 2017, pp. 56–71, <https://doi.org/10.12845/bitp.46.2.2017.4>.
- [19] Polska Norma PN-EN 15276-1:2019-07 Stałe urządzenia gaśnicze – Aerozolowe zestawy gaśnicze – Część 1: Wymagania i metody badań elementów składowych.
- [20] Konowski K., *Pomiary twardości metali*, Katedra Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Laboratorium Wytrzymałości Materiałów, Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie, Szczecin 2005.

ROBERT ŚLIWIŃSKI, M.A. ENG. – a graduate of the Civil Safety Engineering Department at the Main School of Fire Service in Warsaw. He completed post-graduate studies at the University of Warsaw and the Military University of Technology. Since the beginning of his professional work, he has been associated with the Scientific and Research Centre For Fire Protection – National Research Institute in Józefów. As a specialist of the Certification Department, he acted as the coordinator of the substantive area regarding devices included in fire alarm systems. As of 2019, Deputy Head of CNBOP-PIB Technical Assessment Department. CNBOP-PIB representative in PKN KT 173 (Interfaces and Building Electronic Systems), deputy chairman of the Technical Council for national technical assessments.

MGR INŻ. ROBERT ŚLIWIŃSKI – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz Szkoły Głównej Handlowej. Ukończył studia podyplomowe na Uniwersytecie Warszawskim oraz Wojskowej Akademii Technicznej im. Jarosława Dąbrowskiego. Od początku pracy zawodowej związany z Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziowej – Państwowym Instytutem Badawczym w Józefowie. Jako specjalista Jednostki Certyfikującej pełnił rolę koordynatora obszaru merytorycznego dot. urządzeń wchodzących w skład systemów sygnalizacji pożarowej. Od 2019 roku Zastępca Kierownika Zakładu Ocen Technicznych CNBOP-PIB. Przedstawiciel CNBOP-PIB w PKN KT 173 (Interfejsów i Budynkowych Systemów Elektronicznych), zastępca przewodniczącego Rady Technicznej ds. Krajowych Ocen Technicznych.



IV KONFERENCJA NAUKOWA

7.05.2025 JÓZEFÓW / ONLINE

Cykl konferencji organizowanych przez:
Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej
– Państwowy Instytut Badawczy wraz z partnerami

Zapraszamy do udziału!

Informacje o najbliższej edycji i relacje z poprzednich wydarzeń dostępne na:
www.cnbop.pl, w zakładce Nauka, Konferencje BNT

Bernard Wiśniewski^{a*)}, Andrzej Czupryński^{a)}, Jan Ziobro^{b)}, Karol Kujawa^{a)}

^{a)} WSB University / Akademia WSB

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

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: bfwisniewski@o2.pl

Improvement Options and Directions for Crisis Management Exercises Organised by Local Governmental Administration on the Example of Podkarpackie Voivodship – Theoretical Assumptions

Możliwości i kierunki doskonalenia ćwiczeń z zakresu zarządzania kryzysowego organizowanych przez terenową administrację rządową na przykładzie województwa podkarpackiego – założenia teoretyczne

ABSTRACT

Purpose: The objective of the presented analysis is to offer theoretical assumptions for the research work of the team appointed for the purposes of the Voivodship Crisis Management Team exercises organised by the Voivode of Podkarpackie. The authors present the basis for developing the methodology of the project aiming at defining the options and methods for improving the exercises organised by local governmental administration.

Introduction: The analyses conducted by the above-mentioned team aimed at finding sources of knowledge and information related to the organisation of exercises by local governmental administration and determination of the practical usability of the related scientific theories. The works conducted involved such specific problems as: definition of the essentials of the organisation of crisis management practice activities by local governmental administration, identification of organisation improvement needs related to crisis management by local governmental administration and definition of the conditions and perspectives for the improvement of the organisation of the subject exercises. The adopted assumptions indicated that the options of improvement of the organisation of exercises by the local governmental administration of Podkarpackie Voivodship should be sought in the emerging new organisational solutions and access to the preparation and completion analytics and efficiency assessment tools.

Methodology: The authors focused on the review of the methodological assumptions of exercises and the applicable regulations and documents used in the public administration office serving the Voivode and local government bodies of Podkarpackie Voivodship.

Conclusions: The above-mentioned review confirmed the belief in the importance of exercises for the crisis operations improvement process. It is crucial for the preparation of the local communities for emergencies. Above all, it enables the practical application of crisis management plans, which enables identifying deficiencies and areas to improve. Those operations may be improved by preparing a scientific approach to the organisation and assessment of exercises and selection of appropriate legal and scientific bases. The next stage in the works of the authors team will consist in the analysis of local exercises and drawing comprehensive conclusions.

Keywords: security, defence, crisis management, exercises, research, administration

Type of article: short scientific report

Received: 10.12.2024; Reviewed: 23.12.2024; Accepted: 31.12.2024;

Authors' ORCID IDs: B. Wiśniewski – 0000-0002-0011-7271; A. Czupryński – 0000-0002-0519-4989; J. Ziobro – 0000-0002-7520-4265; K. Kujawa – 0000-0003-3035-0151;

Percentage contribution: B. Wiśniewski – 25%; A. Czupryński – 25%; J. Ziobro – 25%; K. Kujawa – 25%;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 128–135, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.8>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem prezentowanych rozważań jest przedstawienie założeń teoretycznych do pracy badawczej zespołu powołanego na potrzeby realizowanych przez wojewodę podkarpackiego ćwiczeń Wojewódzkiego Zespołu Zarządzania Kryzysowego. Autorzy prezentują podstawy do opracowania metodyki w ramach projektu ukierunkowanego na określenie możliwości i sposobów doskonalenia ćwiczeń organizowanych przez terenową administrację rządową.

Wprowadzenie: Analizy prowadzone przez wspomniany zespół ukierunkowane były na poszukiwanie źródeł wiedzy i informacji związanych z organizacją przez terenową administrację rządową ćwiczeń oraz określenie praktycznej przydatności teorii naukowych w tym zakresie. Zrealizowane prace dotyczyły takich zagadnień szczegółowych jak: określenie podstaw organizacji ćwiczeń z zakresu zarządzania kryzysowego przez terenową administrację rządową,

identyfikacja potrzeb doskonalenia organizacji z zakresu zarządzania kryzysowego przez terenową administrację rządową oraz określenie uwarunkowań i perspektyw doskonalenia organizacji przedmiotowych ćwiczeń. Przyjęte założenia wskazywały na to, że możliwości doskonalenia w przeprowadzaniu ćwiczeń terenowej administracji rządowej województwa podkarpackiego należy szukać w pojawiających się nowych rozwiązaniach organizacyjnych oraz dostępie do narzędzi analizy i oceny efektywności oraz skuteczności ich przygotowywania i przeprowadzania.

Metodologia: Autorzy skupili się na przeglądzie założeń metodologii szkoleń i obowiązujących przepisów prawa oraz dokumentów wykorzystywanych w urzędzie administracji publicznej obsługującym wojewodę oraz organy samorządu województwa podkarpackiego.

Wnioski: Powyższy przegląd utwierdza w przekonaniu, jak ważnym w procesie doskonalenia działań w sytuacjach kryzysowych są ćwiczenia. Odgrywają one kluczową rolę w przygotowaniu lokalnych społeczności na sytuacje awaryjne. Przede wszystkim umożliwiają praktyczne zastosowanie planów kryzysowych, co pozwala na identyfikację ewentualnych luk i obszarów wymagających poprawy. Dzięki opracowaniu naukowego podejścia do organizacji i oceny tych ćwiczeń, oraz wyborze odpowiednich podstaw prawnych i naukowych, działania te można doskonalić. Kolejny etap prac zespołu autorskiego polegać będzie na analizie przeprowadzonych lokalnie ćwiczeń i wyciągnięciu z nich kompleksowych wniosków.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, obronność, zarządzanie kryzysowe, ćwiczenia, badania, administracja

Typ artykułu: doniesienie wstępne

Przyjęty: 10.12.2024; **Zrecenzowany:** 23.12.2024; **Zaakceptowany:** 31.12.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: B. Wiśniewski – 0000-0002-0011-7271; A. Czupryński – 0000-0002-0519-4989; J. Ziobro – 0000-0002-7520-4265; K. Kujawa – 0000-0003-3035-0151;

Procentowy wkład merytoryczny: B. Wiśniewski – 25%; A. Czupryński – 25%; J. Ziobro – 25%; K. Kujawa – 25%;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 128–135, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.8>;

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

Introduction

The notion of “education”, commonly accepted in the security science community, is related to: exploration of the world, preparation for processing of the world, capacity and qualification development processes and development of a creative approach to scientific values [1]. In that context, it is also worth noting that “the purpose of education cannot be limited to personnel preparation (...). Education should prepare people not only for using civilisation, but also for creative participation in its further existence and development” [2]. In the ongoing operations of public administration, it involves professional development, which includes i.a. organising theory and practice sessions. The latter play a particular role in the education process, because they are highly efficient and effective forms of knowledge transfer, which enables preparing the participants for professional responsibilities at an appropriate level.

Wprowadzenie

Powszechnie akceptowane w środowisku osób zajmującym się naukami o bezpieczeństwie pojęcie „edukacja” związane jest z: poznaniem świata, przygotowaniem do przetwarzania świata, procesami rozwijania sprawności i kwalifikacji oraz pogłębianiem twórczego stosunku do wartości poznawczych [1]. W kontekście powyższego warte podkreślenia jest również to, że „edukacja nie może służyć wyłącznie przygotowaniu kadr (...). Edukacja powinna przygotować ludzi nie tylko do korzystania z cywilizacji, ale także do twórczego uczestnictwa w procesie jej dalszego istnienia i rozwoju” [2]. W bieżącej działalności administracji publicznej jest ona związana z doskonaleniem zawodowym, które obejmuje m.in. organizację zajęć teoretycznych i ćwiczeń. Te ostatnie odgrywają w procesie edukacji szczególną rolę z uwagi na to, że są wysoce skutecznymi i efektywnymi formami przekazywania wiedzy, pozwalającymi przygotować ich uczestników do wykonywania obowiązków zawodowych na odpowiednim poziomie.

Purpose of the study

The authors of this study present the initial theoretical assumptions for the methodology of improvement of the field exercises organised by local governmental administration, involving the Police, the State Fire Service, the Border Guard, the Territorial Defence Force, the National Fishing Guard, the Mountain Volunteer Search and Rescue, the Space Research Centre, State Forests, Bieszczadzki National Park and selected units of the National Medical Rescue System in Podkarpackie Voivodship. The scope of practice included operation related to fire fighting in forests and adjacent areas, fighting a terrorist act (connected with chemical and biological hazard), mountain search

Cel pracy

Autorzy w niniejszej pracy prezentują wstępne założenia teoretyczne do metodyki doskonalenia ćwiczeń terenowych organizowanych przez terenową administrację rządową z udziałem przedstawicieli Policji, Państwowej Straży Pożarnej, Straży Granicznej, Wojsk Obrony Terytorialnej, Państwowej Straży Rybackiej, Górskiego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego, Wodnego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego, Centrum Badań Kosmicznych, Lasów Państwowych, Bieszczadzkiego Parku Narodowego oraz wybranych jednostek Państwowego Systemu Ratownictwa Medycznego na terenie województwa podkarpackiego. Zakresem ćwiczeń objęto działania związane z gaszeniem

and rescue operations, organisation of accident rescue operations in water areas, protection of critical infrastructure and fighting stored and transferred gas hazards.

Methodological assumptions

To serve their purpose, practice sessions must be subject to assessment and research. This assumption was used during the organisation of the field exercises of local governmental administration of the Podkarpackie Voivodship during the exercise of the Voivodship Crisis Management Team "Coordination of public administration activities in crisis situations in Podkarpackie Voivodship", "BIESZCZADY 2024", by appointing the team for the above tasks.

Its work was based on:

- Ordinance no. 232/24 of the Voivode of Podkarpackie of 6 September 2024 on the preparation and process of the exercise of the Voivodship Crisis Management Team "Coordination of public administration activities in crisis situations in Podkarpackie Voivodship", "BIESZCZADY 2024";
- Ordinance no. 269/24 of the Voivode of Podkarpackie of 29 October 2024 on the preparation and process of the exercise of the Voivodship Crisis Management Team "Coordination of public administration activities in crisis situations in Podkarpackie Voivodship", "BIESZCZADY 2024";
- plan of preparation and process of the exercise of the Voivodship Crisis Management Team "Coordination of public administration activities in crisis situations in Podkarpackie Voivodship", "BIESZCZADY 2024" (with appendices), approved by the Head of the Security and Crisis Management Department of the Podkarpackie Voivodship Office.

Team work organisation

The team worked in two stages. In the first stage, document review and analysis was completed to verify the initial conclusions. This study focused on the first stage of the task.

The majority of the team had experience from the works of the research groups appointed for the purpose of exercises organised by public administration and participated in the research service "Preparation and organisation of exercises – methodology, methods and implementation", performed pursuant to the agreement made on 14 December 2022 between the Voivodship Police Headquarters in Opole and the WSB University in Dąbrowa Górnicza.

The basic material for the operations of the team, in addition to the above-mentioned Ordinance, was the study *Doskonalenie organizacji ćwiczeń w Policji* [3], prepared as part of the

pożaru lasu i terenów przyległych, zwalczanie aktu terrorystycznego (połączonego z zagrożeniem chemicznym i biologicznym), działania poszukiwawczo-ratownicze w terenie górskim, organizację działań ratowniczych po wypadku na akwenach, ochronę infrastruktury krytycznej oraz zwalczanie zagrożeń magazynowanego i przesyłanego gazu.

Założenia metodologiczne

Aby ćwiczenia spełniały swoją rolę, muszą podlegać ocenie i badaniom. Takie założenie wykorzystano podczas organizacji ćwiczeń terenowej administracji rządowej województwa podkarpackiego podczas ćwiczenia Wojewódzkiego Zespołu Zarządzania Kryzysowego pt. „Koordynacja działań administracji publicznej w sytuacjach kryzysowych na terenie województwa podkarpackiego” pk. „BIESZCZADY 2024”, powołując do powyższych zadań zespół.

Podstawą jego pracy były:

- zarządzenie nr 232/24 Wojewody Podkarpackiego z dnia 6 września 2024 r. w sprawie przygotowania i przeprowadzenia ćwiczenia Wojewódzkiego Zespołu Zarządzania Kryzysowego pt. „Koordynacja działań administracji publicznej w sytuacjach kryzysowych na terenie województwa podkarpackiego” pk. „BIESZCZADY 2024”;
- zarządzenie nr 269/24 Wojewody Podkarpackiego z dnia 29 października 2024 r. w sprawie przygotowania i przeprowadzenia ćwiczenia Wojewódzkiego Zespołu Zarządzania Kryzysowego pt. „Koordynacja działań administracji publicznej w sytuacjach kryzysowych na terenie województwa podkarpackiego” pk. „BIESZCZADY 2024”;
- plan przygotowania i przeprowadzenia badań podczas ćwiczenia Wojewódzkiego Zespołu Zarządzania Kryzysowego pt. „Koordynacja działań administracji publicznej w sytuacjach kryzysowych na terenie województwa podkarpackiego” pk. „BIESZCZADY 2024” (wraz z załącznikami) zatwierdzony przez Dyrektora Wydziału Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego Podkarpackiego Urzędu Wojewódzkiego.

Organizacja pracy zespołu

Prace zespołu przebiegały dwuetapowo. W pierwszym dokonano przeglądu i analizy przekazanych dokumentów, a w drugim zaplanowano obserwację ćwiczenia, pozwalającą zweryfikować wstępne wnioski. W niniejszej pracy skupiono się na pierwszym etapie tego zadania.

Większość składu zespołu legitymowała się doświadczeniem w pracach grup badawczych powoływanych na potrzeby ćwiczeń organizowanych przez administrację publiczną oraz uczestniczyło w wykonaniu usługi badawczej pt. „Przygotowanie i organizacja ćwiczeń – metodologia, metodyka, implementacja”, zrealizowanej na podstawie porozumienia zawartego 14 grudnia 2022 roku pomiędzy Komendą Wojewódzką Policji w Opolu a Akademią WSB z siedzibą w Dąbrowie Górniczej.

above-mentioned research service. The purpose of this study was to expand the scientific knowledge on the organisation of exercises of national security system components and its practical use by the Police. During the works on the text, it was included that exercises enable not only improving procedures, but also implementing innovative solutions for complex and sometimes hardly predictable hypothetical situations. The team analysed the studies related to Police training. That enabled stating that scientific and popular science studies present the results of inquiries with proper didactical and methodological basis, sometimes difficult to implement due to their diverse nature, often binary.

To complete the tasks assigned to the team, it was assumed that:

- research are activities aimed at examining something by means of scientific analysis [4];
- exercise is a set of actions performed and repeated to master specific skills, acquire abilities in specific field [4];
- organisation is such cooperation of parts that contributes to the success of the whole [5];
- options are capabilities to act and achieve specific effects that reside in something and show under favourable conditions [4];
- scope is the limit of the extent of a specific phenomenon, activity, fact and/or field, sphere included in these limits [4];
- improvement is making something better, acquiring higher skills in a specific field [4];
- local governmental administration is administration including the voivodship office and integrated governmental administration in the voivodship [6], under supervision of the locally competent voivode.

The assumed objective was to determine the options and scope of improvement of exercises organised by local governmental administration of Podkarpackie Voivodeship.

It was assumed that the above objective would be achievable by solving research problems in the form of open-ended questions, i.e.:

- what determines the organisation of crisis management exercises by local governmental administration?
- what are the organisation improvement needs related to crisis management by local governmental administration?
- how to rationalise the organisation of crisis management exercises by local governmental administration?

Considering the above, it was assumed that the subject of research would be the organisation process of exercises prepared and conducted by public administration of Podkarpackie Voivodeship in the context of improvement.

Considering the team work time limitations, it was concluded that the optimum research methods in use will be: analysis, observation and inductive inference. That conclusion was made, because:

- the analysis consisting in the decomposition of the whole into component parts or extraction of individual components of the whole to examine the whole by examining the individual parts [7] enabled identifying the scope of undertakings contributing to the improvement of the organisation of exercises;
- observation is a method used for careful and purposeful

Materiałem bazowym dla działalności zespołu, oprócz przywołanego wcześniej zarządzenia, było opracowanie pt. *Doskonalenie organizacji ćwiczeń w Policji* [3], powstałe w ramach przywołanej powyżej usługi badawczej. Celem tego opracowania było poszerzenie wiedzy naukowej w zakresie dotyczącym organizacji ćwiczeń elementów systemu bezpieczeństwa państwa oraz jej praktyczne wykorzystanie w Policji. Podczas prac nad tekstem uwzględniono to, że w ćwiczeniach można doskonalić nie tylko procedury działania, ale również implementować innowacyjne rozwiązania dla złożonych, niekiedy trudnych do przewidzenia, hipotetycznych sytuacji. Zespół dokonał analizy opracowań odnoszących się do szkolenia Policji. Pozwoliła ona stwierdzić, że w opracowaniach o charakterze naukowym i popularnonaukowym prezentuje się wyniki dociekań mające swoje właściwe podstawy dydaktyczne i metodyczne, ale o charakterze niekiedy trudnym do zaimplementowania z uwagi na ich różnorodny, często binarny charakter.

Na potrzeby realizacji zadań powierzonych zespołowi przyjęto, że:

- badania to czynności mające na celu poznanie czegoś za pomocą analizy naukowej [4];
- ćwiczenie to zespół czynności wykonywanych i powtarzanych w celu opanowania jakichś umiejętności, nabywania sprawności w jakiejś dziedzinie [4];
- organizacja to takie współdziałanie części, które przyczynia się do powodzenia całości [5];
- możliwości to tkwiąca w czymś i ujawniająca się w sprzyjających warunkach zdolność do działania i osiągania jakichś efektów [4];
- zakres to granica zasięgu jakiegoś zjawiska, działania, faktu oraz/lub dziedzina, sfera objęta tymi granicami [4];
- doskonalenie to czynienie czegoś coraz lepszym, zdobywanie coraz większych umiejętności w jakiejś dziedzinie [4];
- terenowa administracja rządowa to administracja, w skład której wchodzi urząd wojewódzki oraz zespolona administracja rządowa w województwie [6] pozostająca pod zwierzchnictwem właściwego terytorialnie wojewody.

Za cel prac przyjęto określenie możliwości i zakresu doskonalenia ćwiczeń organizowanych przez terenową administrację rządową województwa podkarpackiego.

Żałono, że powyższy cel będzie możliwy do osiągnięcia poprzez rozwiązanie problemów badawczych, którym nadano formę pytań otwartych, tj.:

- co determinuje organizację ćwiczeń z zakresu zarządzania kryzysowego przez terenową administrację rządową?
- jakie są potrzeby doskonalenia organizacji ćwiczeń z zakresu zarządzania kryzysowego przez terenową administrację rządową?
- jak zracjonalizować organizację ćwiczeń z zakresu zarządzania kryzysowego przez terenową administrację rządową?

Uwzględniając powyższe, przyjęto, że przedmiotem badań będzie proces organizacji ćwiczeń przygotowywanych i prowadzonych przez administrację publiczną województwa podkarpackiego w kontekście jego doskonalenia.

Zdając sobie sprawę z ograniczeń czasowych pracy zespołu uznano, że optymalnymi metodami badawczymi zastosowanymi przez nią będą: analiza, obserwacja oraz wnioskowanie indukcyjne. Zdecydowano o tym, ponieważ:

scientific perception that enables confirming or denying the results of theoretical research [8] related to the improvement of organisation of exercises;

- inductive inference, in which general assertions are derived from detailed information [9], leads to generalisations and conclusions on the options and scope of improvement of organisation of exercises by the local governmental administration of Podkarpackie Voivodship.

Considering the above-presented assumptions and that scientific research is a multi-stage process, which consists of the set of research actions that should ensure a relatively complete and objective examination and explanation of interesting phenomena [10], the decision was made to conduct research in the following stages [11]:

- design of research,
- completion of research,
- analysis of research and preparation of the report and disclosure of results.

The formulation method of research problems and the purpose of research required the assumption of subject and time restrictions. The former were related to the use of publicly available regulations, documents as of 1 September 2024. The latter, however, only with the time of preparation, organisation and completion of the exercise of the Voivodship Crisis Management Team “Coordination of public administration activities in crisis situations in Podkarpackie Voivodship”, “BIESZCZADY 2024”.

- analiza polegająca na dekompozycji całości na części składowe lub wyodrębnianiu poszczególnych elementów całości w celu poznania całości dzięki poznaniu poszczególnych części [7] pozwala na identyfikację zakresu przedsięwzięć składających się na doskonalenie organizacji ćwiczeń;
- obserwacja jest metodą stosowaną do uważnego i celowego postrzegania naukowego pozwalającego na potwierdzenie lub zaprzeczenie wyników pozyskanych w ramach badań teoretycznych [8] dotyczących doskonalenia organizacji ćwiczeń;
- wnioskowanie indukcyjne, w którym twierdzenia ogólne wywodzą się ze szczegółowych informacji [9], doprowadzi do sformułowania uogólnień i wniosków dotyczących możliwości i zakresu doskonalenia organizacji ćwiczeń przeprowadzanych przez terenową administrację rządową województwa podkarpackiego.

Mając na uwadze przedstawione do tej pory założenia oraz to, że badanie naukowe jest procesem wieloetapowym, składającym się z zespołu czynności badawczych, które winny zapewnić relatywnie pełne i obiektywne poznanie oraz wyjaśnienie interesujących badacza zjawisk [10] uznano, iż należy je przeprowadzić w następujących etapach [11]:

- projektowanie badań,
- wykonanie badań,
- analiza badań oraz opracowanie raportu i udostępnienie wyników.

Sposób sformułowania problemów badawczych oraz celu badań wymagał przyjęcia ograniczeń przedmiotowych i czasowych. Te pierwsze związane były z wykorzystaniem powszechnie dostępnych przepisów prawa, dokumentów według stanu na dzień 1 września 2024 roku. Natomiast drugie – wyłącznie z czasem przygotowania, organizowania i przeprowadzenia ćwiczenia Wojewódzkiego Zespołu Zarządzania Kryzysowego pt. „Koordynacja działań administracji publicznej w sytuacjach kryzysowych na terenie województwa podkarpackiego” pt. „BIESZCZADY 2024”.

Legal bases and literature constituting the basis for preparing the exercise programme

The local governmental administration and the local government hold studies that may be used as guides to the preparation and completion of exercises. They are related to two activity areas of public administration, such as: crisis management and defence preparations.

The subject of crisis management is addressed by two studies: *Metodyka organizacji krajowych ćwiczeń zarządzania kryzysowego* [12] and *Metodologia przygotowania i prowadzenia ćwiczeń oraz szkoleń z zakresu ochrony infrastruktury krytycznej i zarządzania kryzysowego dla kadry kierowniczej instytucji, sztabów i służb w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych* [13].

The former was prepared in 2019 by the Government Centre for Security. Its purpose was to organise knowledge and identify the exercise organisation process. The document presents the components required to improve the capabilities of commanders,

Podstawy prawne i literatura stanowiące podstawę do opracowania programu ćwiczeń

Terenowa administracja rządowa oraz samorząd terytorialny dysponuje opracowaniami mogącymi służyć jako poradniki do przygotowania i prowadzenia ćwiczeń. Dotyczą one dwóch obszarów aktywności administracji publicznej, jakimi są: zarządzanie kryzysowe i przygotowania obronne.

Do tematu zarządzania kryzysowego odnoszą się dwa opracowania: *Metodyka organizacji krajowych ćwiczeń zarządzania kryzysowego* [12] oraz *Metodologia przygotowania i prowadzenia ćwiczeń oraz szkoleń z zakresu ochrony infrastruktury krytycznej i zarządzania kryzysowego dla kadry kierowniczej instytucji, sztabów i służb w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych* [13].

Pierwsza z wymienionych publikacji została opracowana w 2019 r. przez Rządowe Centrum Bezpieczeństwa. Jej celem było uporządkowanie wiedzy oraz wskazanie procesu organizacji ćwiczeń. Dokument przedstawia niezbędne elementy do

officers and personnel in crisis situations. The study is based on good practices for strategic, operational and tactical exercises pursuant to the National Crisis Management Plan and the National Critical Infrastructure Protection Programme.

In turn, the study *Metodologia przygotowania i prowadzenia ćwiczeń oraz szkoleń w zakresie ochrony infrastruktury krytycznej i zarządzania kryzysowego dla kadry kierowniczej instytucji, sztabów i służb w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych*, prepared in 2013 by the Rescue and Civil Defence Department of the Ministry of Internal Affairs is based on the experience of domestic and allied exercises, as well as cooperation with the Polish Armed Forces and civilian institutions. The methodology was created using two key documents governing the training of the Polish Armed Forces and critical infrastructure protection and crisis management training methodology of the Ministry of Internal Affairs, which enabled integrating the civilian and military approaches.

The two studies referred to present a similar approach to presentation of the exercise organisation process, in particular in the context of classification by purpose, scale and location. They are focused on key components related to the preparation and completion of exercises, while emphasising their importance for effective crisis management. The main difference between them is that the study of 2013 is more detailed and more focused on the role of the management, which plays a key function in the supervision of the exercise preparation and completion process, which proves a more practical approach. Above all, however, that text is more functional, because it includes appendices that facilitate the organisation and completion of exercises, making it a useful tool in practical applications.

In the field of defence preparation, two documents are worth noting – recommendations in *Przygotowanie i prowadzenie ćwiczeń obronnych* [14] and *Zalecenia Wojewody Podkarpackiego z dnia 18 stycznia 2023 r. dotyczące tematyki i sposobu prowadzenia ćwiczeń obronnych na terenie województwa podkarpackiego* [15].

The two studies are based on the provisions of the Regulation of the Council of Ministers of 31 October 2022 on defence training (Journal of Laws 2022, item 2348) [16]. They include guidelines related to the target audience, forms, purposes, subjects, completion methods, funding and reporting of exercises. The two documents have synthetic content and guide character.

Considering the advantages and disadvantages of the above-mentioned documents, it seems reasonable, during the preparation and completion of crisis management and defence exercises, to refer to scientific studies in the field.

Conclusions

The organisation of exercises is part of organised activities, understood as organised activity of people (institutions) aimed at the achievement of a common objective. A feature of organised activities is the need to improve them, of which the essence is

doskonalenia umiejętności dowódców, funkcjonariuszy i pracowników w sytuacjach kryzysowych. Opracowanie opiera się na dobrych praktykach z zakresu ćwiczeń strategicznych, operacyjnych i taktycznych zgodnie z Krajowym Planem Zarządzania Kryzysowego i Narodowym Programem Ochrony Infrastruktury Krytycznej.

Z kolei praca pt. *Metodologia przygotowania i prowadzenia ćwiczeń oraz szkoleń w zakresie ochrony infrastruktury krytycznej i zarządzania kryzysowego dla kadry kierowniczej instytucji, sztabów i służb w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych*, przygotowana w 2013 r. przez Departament Ratownictwa i Ochrony Ludności w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych, opiera się na doświadczeniach z ćwiczeń krajowych oraz sojuszniczych, a także na współpracy z Siłami Zbrojnymi RP i instytucjami cywilnymi. Przy tworzeniu metodyki wykorzystano dwa kluczowe dokumenty regulujące szkolenie w Siłach Zbrojnych RP oraz metodologię szkoleń z zakresu ochrony infrastruktury krytycznej i zarządzania kryzysowego Ministerstwa Spraw Wewnętrznych, co pozwoliło zintegrować podejścia cywilne i wojskowe.

Oba przywołane opracowania prezentują zbliżone podejście do przedstawienia procesu organizacji ćwiczeń, zwłaszcza w kontekście ich klasyfikacji według celu, skali i miejsca. Koncentrują się na kluczowych elementach związanych z przygotowaniem oraz przeprowadzeniem ćwiczeń, podkreślając ich znaczenie dla efektywnego zarządzania kryzysowego. Główna różnica między nimi polega na tym, że opracowanie z 2013 r. jest bardziej szczegółowe i kładzie większy nacisk na rolę kierownictwa, które odgrywa kluczową funkcję w nadzorowaniu procesu przygotowania oraz realizacji ćwiczeń, co wskazuje na bardziej praktyczne podejście. Przede wszystkim jednak tekst ten jest bardziej funkcjonalny, ponieważ zawiera załączniki, które ułatwiają organizację i prowadzenie ćwiczeń, co czyni go narzędziem użytecznym w praktycznych zastosowaniach.

W obszarze przygotowania obronnego warto zwrócić uwagę na dwa dokumenty – zalecenia: *Przygotowanie i prowadzenie ćwiczeń obronnych* [14] oraz *Zalecenia Wojewody Podkarpackiego z dnia 18 stycznia 2023 r. dotyczące tematyki i sposobu prowadzenia ćwiczeń obronnych na terenie województwa podkarpackiego* [15].

Oba opracowania powstały w oparciu o zapisy rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 31 października 2022 r. w sprawie szkolenia obronnego (Dz.U. 2022 poz. 2348) [16]. Zawierają one wskazówki dotyczące grona ich adresatów, form i celów oraz tematyki ćwiczeń, sposobów ich prowadzenia, finansowania oraz sprawozdawczości. Oba dokumenty są syntetyczne w swej treści i posiadają częściowo charakter poradnikowy.

Uwzględniając zalety i wady wyżej wymienionych dokumentów, wydaje się celowe – w trakcie przygotowania i prowadzenia ćwiczeń z zarządzania kryzysowego i obronności – sięganie po opracowania naukowe z tego zakresu.

Podsumowanie

Organizacja ćwiczeń jest przejawem działań zorganizowanych, rozumianych jako uporządkowana aktywność ludzi (instytucji) skierowana na osiągnięcie wspólnego celu. Jedną z cech działań zorganizowanych jest potrzeba ich doskonalenia, której istotą jest

“the intensification of the tendencies of social actors to refer to knowledge to gain increased control over the surrounding world in the environment of depersonalised social relationships” [17]. The improvement of the organisation of practices is strictly connected with the process of acquiring highly objectivised knowledge, adjusted to the surroundings and changes occurring in it. The acquisition of knowledge cannot rely on own experience only, but it should include all kinds of undertakings completed as part of professional development; knowledge should be used in practical activity and developing increasingly effective operating procedures [18].

Exercises “(...) enable finding the most appropriate solution to diverse problems, specified by theory (...) and identifying new problems that require conclusion in theory or re-examination in practice (...). The conclusions from exercise experience significantly contribute to the development of theoretical conceptions, which in turn contribute to the improvement of practical solutions” [19].

The considerations presented prove the need for improving crisis management exercises. They are the most efficient way to prepare their organisers and local communities to respond to emergencies. They are also a highly efficient way to check the professional level of crisis management plans that enable determining their areas to rationalise. The next stage of work of the team was to formulate general conclusions, which in assumptions may contribute to the higher level of organisation of the subject exercises.

„nasilenie się tendencji aktorów społecznych do odwoływania się do wiedzy, by w środowisku odpersonalizowanych stosunków społecznych zdobywać coraz większą kontrolę nad otaczającym ich światem” [17]. Doskonalenie organizacji ćwiczeń pozostaje w ścisłym związku z procesem zdobywania wysoce zobiektywizowanej wiedzy, dostosowanym do otoczenia i zachodzących w nim zmian. Nie może się to jednak wyłącznie opierać na podstawie własnych doświadczeń, lecz również na wszelkiego rodzaju przedsięwzięciach zrealizowanych w ramach doskonalenia zawodowego; wiedza powinna być wykorzystywana w praktycznym działaniu i wypracowywaniu coraz bardziej skutecznych procedur działania [18].

Ćwiczenia „(...) umożliwiają znalezienie najwłaściwszego rozwiązania różnorodnych problemów, wysuwanych przez teorię (...) oraz wyłanianie nowych problemów, wymagających rozstrzygnięcia teoretycznego lub ponownego zbadania w praktyce (...). Wnioski z doświadczeń ćwiczebnych w poważnym stopniu przyczyniają się do rozwoju koncepcji teoretycznych, a te z kolei – do doskonalenia rozwiązań praktycznych” [19].

Zaprezentowane rozważania dowodzą potrzeby doskonalenia ćwiczeń z zakresu zarządzania kryzysowego. Są one bowiem najskuteczniejszą formą przygotowania ich organizatorów i społeczności lokalnych do przeciwstawienia się sytuacjom awaryjnym. Są również wysoce efektywnym sposobem sprawdzania poziomu profesjonalności planów zarządzania kryzysowego, umożliwiającym także określenie obszarów ich racjonalizacji. Kolejnym etapem pracy zespołu będzie wypracowanie wniosków natury ogólnej, co w założeniach może przyczynić się do podniesienia poziomu organizacji wspomnianych ćwiczeń.

Literature / Literatura

- [1] Andrzejczak A., *Projektowanie i realizacja szkoleń*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010.
- [2] Kupisiewicz Cz., *Podstawy dydaktyki*, WSiP, Warszawa 2005.
- [3] *Doskonalenie organizacji ćwiczeń w Policji*, B. Wiśniewski, A. Czapryński (red.), Akademia WSB, Dąbrowa Górnicza 2023.
- [4] *Wielki słownik języka polskiego*, S. Dubisz (red.), Tom A-G, Warszawa 2018.
- [5] Kotarbiński T., *Traktat o dobrej robocie*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1982.
- [6] *Prawniczy słownik wyrazów trudnych*, J. Boć (red.), Kolonia Limited, Łódź 2005.
- [7] Podgórski R., *Metodologia badań socjologicznych. Kompendium wiedzy metodologicznej dla studentów*, Oficyna Wydawnicza Branta, Bydgoszcz–Olsztyn 2007.
- [8] Pieter J., *Ogólna metodologia pracy naukowej*, Zakład Narodowy im. Ossolińskich, Wrocław 1967.
- [9] Cieślarczyk M., *Teoretyczne i metodologiczne podstawy badania problemów bezpieczeństwa i obronności państwa*, Wydawnictwo Akademii Podlaskiej, Siedlce 2009.
- [10] Kuc B.R., Ściabiorek Z., *Podstawy metodologiczne nauk o bezpieczeństwie*, Wyd. Menedżerskie PTM, Warszawa 2013.
- [11] Szreder M., *Metody i techniki sondażowych badań opinii*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2004.
- [12] *Metodyka organizacji krajowych ćwiczeń zarządzania kryzysowego*, Warszawa 2019.
- [13] *Metodologia przygotowania i prowadzenia ćwiczeń oraz szkoleń z zakresu ochrony infrastruktury krytycznej i zarządzania kryzysowego dla kadry kierowniczej instytucji, sztabów i służb w Ministerstwie Spraw Wewnętrznych*, Warszawa 2013.
- [14] *Zalecenia „Przygotowanie i prowadzenie ćwiczeń obronnych”*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Warszawa 2023.
- [15] *Zalecenia Wojewody Podkarpackiego z dnia 18 stycznia 2023 r. dotyczące tematyki i sposobu prowadzenia ćwiczeń obronnych na terenie województwa podkarpackiego*, Podkarpacki Urząd Wojewódzki, Rzeszów 2023.
- [16] Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 31 października 2022 r. w sprawie szkolenia obronnego (Dz.U. 2022 poz. 2348).
- [17] *Słownik socjologii i nauk społecznych*, G. Marshall (red.), PWN, Warszawa 2008.
- [18] *Analiza i ocena prawno-organizacyjnych możliwości zwiększenia efektywności działania Straży Granicznej w sytuacjach kryzysowych*, projekt badawczy, Bielsko-Biała 2012.
- [19] Nożko K., *Zagadnienia współczesnej sztuki wojennej*, Ministerstwo Obrony Narodowej, Warszawa 1973.
- [20] Prońko J., *Potrzeby i możliwości doskonalenia działań*

- zorganizowanych, w: *Racjonalizacja zarządzania jednolitymi formacjami umundurowanymi odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo wewnętrzne*, B. Wiśniewski (red.), Warszawa 2017.
- [21] Rysz S.J., Ziobro J., *Znaczenie ćwiczeń w procesie zapewniania bezpieczeństwa wewnętrznego w: Rola i zadania administracji publicznej w zarządzaniu bezpieczeństwem w Polsce*, J. Kisielnicki, T. Płusa, S. Rysz, J.B. Rajchel, K. Rajchel (red.), Rzeszów 2017.
- [22] Wiśniewski B., G.S. Sander, *Zagrożenie, kryzys i sytuacja kryzysowa – jako uwarunkowania życia współczesnego człowieka*, BiTP Vol. 41 Issue 1, 2016, pp. 13–18.
- [23] Ziobro J., *Rola oraz znaczenie ćwiczeń w procesie zarządzania podmiotami odpowiedzialnymi za zapewnianie bezpieczeństwa wewnętrznego w wymiarze mikro i makro*, w: *Racjonalizacja zarządzania jednolitymi formacjami umundurowanymi odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo wewnętrzne*, B. Wiśniewski, T. Zwęgliński (red.), Tom IV, SGSP, Warszawa 2019.
- [24] Zwęgliński T., *Poznawcze problemy ewaluacji ćwiczeń ochrony ludności*, Akademia Pożarnicza, Warszawa 2023.
- [25] Falecki J., *Organizacja gier decyzyjnych w zarządzaniu kryzysowym*, Wyższa Szkoła Humanitas, Sosnowiec 2015.
- [26] *Funkcjonalizacja organizacji ćwiczeń w Policji*, B. Wiśniewski, A. Czupryński, R. Kochańczyk (red.), Akademia WSB (w przygotowaniu).
- [27] Justyński K., *Racjonalizacja działań Policji w warunkach zagrożeń i zdarzeń nadzwyczajnych*, rozprawa doktorska, Wrocław 2019.
- [28] *Metodyka ćwiczeń podsystemu niemilitarnego w systemie obronnym RP. Teoria i praktyka*, W. Kitler (red.), Towarzystwo Wiedzy Obronnej, Warszawa 2024.
- [29] *Metodyka przygotowania i prowadzenia ćwiczeń podsystemu niemilitarnego w systemie obronnym RP*, W. Kitler (red.), Towarzystwo Wiedzy Obronnej, Warszawa 2006.
- [30] Nowak E., *Treningi i ćwiczenia sztabowe z zespołami zarządzania kryzysowego (Województwo. Powiat. Gmina)*, Warszawa 2022.

PROF. BERNARD WIŚNIEWSKI, D.SC. ENG. – Head of the Security Sciences Research Methodology Centre at the WSB University in Dąbrowa Górnicza. His interests are related to: security methodology, national internal security, crisis management and defence preparations of public administration. He is the author of more than 200 studies published in Poland and several other countries.

ANDRZEJ CZUPRYŃSKI, D.SC., UNIVERSITY PROFESSOR – Deputy Head of the Security Sciences Research Methodology Centre at the WSB University in Dąbrowa Górnicza. His field of research, didactic and publishing interest is security research methodology, security theory, security systems, peace and conflict studies.

JAN ZIOBRO, PH.D. ENG. – assistant professor at the Faculty of Internal Security (Institute of Social Sciences), Jan Grodek State University in Sanok, Deputy Head of the Security and Crisis Management Department of the Podkarpackie Voivodeship Office. Retired Fire Officer, graduate of Fire University and Warsaw University of Technology, Ph.D. graduate in the field of security sciences from the Faculty of Internal Security of the Police Academy in Szczytno. Participant, organiser and commander of many rescue operations and exercises, domestically and abroad. Author of publications in the field of: public security, civil defence, crisis management, fire protection and rescue.

KAROL KUJAWA, PH.D. – security analyst in the EU, Middle East and Balkans. Fellow and lecturer at several foreign universities (in the USA, Turkey, Germany, France), author and co-author of more than 100 articles, as well as author and co-editor of many books. Expert at the government research institution, the Polish National Science Academy, and Slovak Research and Development Agency. He also conducted more than 50 international research projects. At present, he is assistant professor at the WSB University in Dąbrowa Górnicza. In addition, he is coordinator at the Security Sciences Research Methodology Centre at the WSB University in Kraków.

PROF. DR HAB. INŻ. BERNARD WIŚNIEWSKI – dyrektor Centrum Metodologii Badań w Naukach o Bezpieczeństwie Akademii WSB w Dąbrowie Górniczej. Jego zainteresowania dotyczą: metodologii bezpieczeństwa, bezpieczeństwa wewnętrznego państwa, zarządzania kryzysowego oraz przygotowań obronnych administracji publicznej. Jest autorem ponad dwustu publikacji wydanych w Polsce i kilkunastu innych krajach.

DR HAB. ANDRZEJ CZUPRYŃSKI, PROF. UCZELNI – zastępca Dyrektora Centrum Metodologii Badań w Naukach o Bezpieczeństwie Akademii WSB w Dąbrowie Górniczej. Jego obszarem zainteresowania badawczego i dydaktycznego oraz publicystycznego jest metodologia i metodyka badań bezpieczeństwa, teoria bezpieczeństwa, systemy bezpieczeństwa, polemologia i irenologia.

DR INŻ. JAN ZIOBRO – adiunkt w Zakładzie Bezpieczeństwa Wewnętrznego (Instytut Nauk Społecznych), Uczelni Państwowej im. Jana Grodka w Sanoku, zastępca dyrektora Wydziału Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego w Podkarpackim Urzędzie Wojewódzkim. Emerytowany oficer pożarnictwa, absolwent SGSP oraz Politechniki Warszawskiej. Doktorat w dyscyplinie nauk o bezpieczeństwie uzyskał na Wydziale Bezpieczeństwa Wewnętrznego Wyższej Szkoły Policji w Szczytnie. Uczestnik, organizator i dowódca wielu akcji ratowniczych oraz ćwiczeń w kraju i za granicą. Autor publikacji z zakresu: bezpieczeństwa powszechnego, ochrony ludności, zarządzania kryzysowego, ochrony przeciwpożarowej, ratownictwa.

DR KAROL KUJAWA – analityk ds. bezpieczeństwa w UE, w regionie Bliskiego Wschodu oraz na Bałkanach. Stypendysta i wykładowca na wielu zagranicznych uczelniach (w USA, Turcji, Niemczech, Francji), autor i współautor ponad 100 artykułów, a także autor i współredaktor wielu książek. Ekspert w rządowej instytucji badawczej – Narodowej Agencji Nauki w Polsce i Słowackiej Agencji Badań i Rozwoju (SRDA). Prowadził również ponad 50 międzynarodowych projektów badawczych. Obecnie jest adiunktem na WSB w Dąbrowie Górniczej. Ponadto pełni funkcję koordynatora Centrum Metodologii Badań w Naukach o Bezpieczeństwie Akademii WSB w Krakowie.

Marcin Ochenkowski^{a)*}, Tomasz Popielarczyk^{a)}

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

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

Analysis and Evaluation of Currently Used Standards/Norms/Guidelines for the Design and Installation of Emergency Lighting

Analiza i ocena obecnie stosowanych standardów/norm/wytycznych dotyczących projektowania i instalowania oświetlenia awaryjnego

ABSTRACT

Purpose: The aim of this publication is to present the results of theoretical research – assessment of normative and legal documents used to design and install emergency lighting systems in selected countries. The aim of the research was to analyze and compare emergency lighting systems in Poland, against the background of selected standards from different parts of the world.

Introduction: Seven standards were adopted for the analysis and assessment of currently used standards/norms/guidelines for designing and installing emergency lighting in the world, therefore differences in the approach to design are noticeable. The analysis took into account the guidelines and standards of countries such as: United Arab Emirates, United States, Australia, Netherlands, Norway, Great Britain and Poland. European countries base their design requirements on the European standard EN 1838 and EN 50172, taking into account their own guidelines. The requirements that appear in Australian and NFPA standards look slightly different, which were also an inspiration for the standards of the United Arab Emirates, which we can consider the best described and most rigorous. During the analysis, standards/guidelines were compared in terms of requirements for places requiring application, light intensity, type of lighting and installation of emergency lighting fixtures. The study also describes the requirements for dynamic lighting systems, for which there is no Polish standard and for now come from the German DIN VDE standard for visual evacuation guidance systems.

Methodology: Theoretical research was used in the research process, such as: analysis of literature and legal documents, synthesis, generalization, inference, comparison and analogy. The analysis took into account guidelines and standards of countries such as: United Arab Emirates, United States, Australia, Netherlands, Norway, Great Britain and Poland. The selection of individual countries was guided by the level of development of these systems in a given country and the availability of source documents.

Conclusions: Based on the analysis, it can be stated that in all the standards analyzed, the safe evacuation from a facility threatened by fire and loss of basic power supply is the most important. All countries also approach the issue of facilities in which these systems should be used in a similar way. The requirements in Europe are largely based on the EN 1838 standard, while the United States and the United Arab Emirates are based on the NFPA. The problem is the lack of a European standard for dynamic lighting systems, the current requirements come from the German standard DIN VDE V 0108-200 for Visual evacuation guidance systems, which will probably become an inspiration for the creation of the EN standard in the future.

Keywords: emergency lighting, lighting fitting, nominal fail-safe working time, safety sign, dynamic escape routing systems (DSL)

Type of article: review article

Received: 20.12.2024; Reviewed: 04.01.2025; Accepted: 31.12.2024;

Authors' ORCID IDs: M. Ochenkowski – 0000-0002-9783-5287; T. Popielarczyk – 0000-0002-0124-7182;

Percentage contribution: M. Ochenkowski – 70%; T. Popielarczyk – 30%;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 136–157, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.9>;

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

ABSTRAKT

Cel: Niniejsza publikacja przedstawia wyniki prowadzonych badań teoretycznych – oceny dokumentów normatywnych i prawnych stosowanych do projektowania i instalowania systemów oświetlenia awaryjnego w wybranych krajach. Celem badań było dokonanie analizy i porównania systemów oświetlenia awaryjnego w Polsce, na tle wybranych standardów z różnych części świata.

Wprowadzenie: Do analizy i oceny obecnie stosowanych standardów/norm/wytycznych projektowania i instalowania oświetlenia awaryjnego na świecie przyjęto siedem standardów z różnych części świata, pomiędzy którymi zauważalne są różnice w podejściu do projektowania. W analizie uwzględniono wytyczne oraz standardy opublikowane w Zjednoczonych Emiratach Arabskich, Stanach Zjednoczonych, Australii, Holandii, Norwegii, Wielkiej Brytanii oraz

Polsce. Kraje europejskie opierają swoje wymagania projektowe na normach europejskich EN 1838 i EN 50172 z uwzględnieniem własnych wytycznych. Nieco inaczej wyglądają wymagania, które pojawiają się w standardach australijskich oraz NFPA, stanowiących dodatkową inspirację dla standardów Zjednoczonych Emiratów Arabskich – uznawanych za najlepiej opisane i najbardziej rygorystyczne. Podczas analizy porównano standardy/wytyczne pod względem wymagań odnośnie miejsc zastosowania, natężenia światła, rodzaju oświetlenia oraz montażu opraw oświetleniowych dotyczących oświetlenia awaryjnego. W opracowaniu opisano również wymagania dla systemów oświetlenia dynamicznego, dla których dotąd nie powstała polska norma, stąd opierano się na niemieckiej normie DIN VDE dla wizualnych systemów kierowania ewakuacją.

Metodologia: W ramach realizacji procesu badawczego wykorzystano badania teoretyczne, takie jak: analiza literatury i dokumentów prawnych, synteza, uogólnianie, wnioskowanie, porównanie oraz analogia. Przy doborze przykładów spośród poszczególnych państw kierowano się poziomem rozwoju tych systemów w danym kraju oraz dostępnością dokumentów źródłowych.

Wnioski: Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że we wszystkich poddanych jej standardach na pierwszym miejscu stawiana jest bezpieczna ewakuacja z obiektu zagrożonego pożarem oraz zanikiem zasilania podstawowego. Wszystkie kraje w podobny sposób podchodzą również do kwestii obiektów, w których te systemy powinny być zastosowane. Wymagania w Europie w dużej mierze opierają się na standardzie EN 1838, natomiast Stany Zjednoczone oraz Zjednoczone Emiraty Arabskie bazują na NFPA. Problemem jest brak europejskiej normy dla systemów oświetlenia dynamicznego – obecne wymagania pochodzą z normy niemieckiej DIN VDE V 0108-200 dla wizualnych systemów kierowania ewakuacją, która prawdopodobnie stanie się w przyszłości inspiracją do stworzenia normy EN.

Słowa kluczowe: oświetlenie awaryjne, oprawa oświetleniowa, znamionowy czas pracy awaryjnej, znak bezpieczeństwa, dynamiczne systemy kierowania ewakuacją (DSL)

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 20.12.2024; **Zrecenzowany:** 04.01.2025; **Zaakceptowany:** 31.12.2024;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Ochenkowski – 0000-0002-9783-5287; T. Popielarczyk – 0000-0002-0124-7182;

Procentowy wkład merytoryczny: M. Ochenkowski – 70%; T. Popielarczyk – 30%;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 136–157, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.9>;

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

Introduction

To analyse and assess the currently used emergency lighting design and installation standards/norms/guidelines, seven standards from different parts of the world are used worldwide, with notable differences in the approach to the design. The analysis covered guidelines and standards published in: United Arab Emirates, United States, Australia, the Netherlands, Norway, United Kingdom and Poland. European countries base their design requirements on European Norms EN 1838 [1] and EN 50172 [2], considering their own guidelines. On the other hand, the requirements of Australian standards [3] and the NFPA (National Fire Protection Association) [4–6], which in addition inspired the United Arab Emirates standards, recognised as the best described and the most stringent. The analysis compared standards/guidelines for requirements according to the place of application, illumination, lighting type and installation of lighting fittings for emergency lighting. The study also described the requirements for dynamic lighting systems, for which no Polish standard exists, thus the German standard DIN VDE [7] for visual escape routing systems was used.

At the European level, the harmonisation of the legislation initiated the harmonisation of standards. Traditionally, almost every country has its own standardisation institutes. In the European Union, most standards are created directly as European Norms (EN) and then reflected in national documents. Thus, either an EN standard is introduced as national standard, or a national standard is introduced as EN standard.

For example, the German Standardisation Institute (DIN) is responsible for publishing national standards. DIN standards are developed and published jointly with CEN or CENELEC as DIN EN ISO or DIN EN standards.

Wprowadzenie

Do analizy i oceny obecnie stosowanych standardów/norm/wytycznych projektowania i instalowania oświetlenia awaryjnego na świecie przyjęto siedem standardów z różnych części świata, pomiędzy którymi zauważalne są różnice w podejściu do projektowania. W analizie uwzględniono wytyczne oraz standardy opublikowane w: Zjednoczonych Emiratach Arabskich, Stanach Zjednoczonych, Australii, Holandii, Norwegii, Wielkiej Brytanii oraz Polsce. Kraje europejskie opierają swoje wymagania projektowe na normach europejskich EN 1838 [1] oraz EN 50172 [2], z uwzględnieniem własnych wytycznych. Nieco inaczej wyglądają wymagania, które pojawiają się w standardach australijskich [3] oraz NFPA (*National Fire Protection Association*) [4–6], które były dodatkowo inspiracją dla standardów Zjednoczonych Emiratów Arabskich, uznawanych za najlepiej opisane i najbardziej rygorystyczne. Podczas analizy porównano standardy/wytyczne pod względem wymagań co do miejsc zastosowania, natężenia światła, rodzaju oświetlenia oraz montażu opraw oświetleniowych do oświetlenia awaryjnego. W opracowaniu opisano również wymagania dla systemów oświetlenia dynamicznego, dla których nie ma polskiej normy – bazowano więc na niemieckiej normie DIN VDE [7] dla wizualnych systemów kierowania ewakuacją.

Na poziomie europejskim harmonizacja prawodawstwa zainicjowała harmonizację norm. Tradycyjnie niemal każdy kraj ma swoje własne instytuty normalizacyjne. W Unii Europejskiej większość norm tworzy się bezpośrednio jako normy EN, które następnie znajdują odzwierciedlenie w dokumentach krajowych. Zatem norma EN wprowadzana jest jako norma krajowa lub norma krajowa jako norma EN.

Przykładowo, Niemiecki Instytut Normalizacyjny (DIN) jest odpowiedzialny za publikowanie norm krajowych. Normy DIN są

In other European countries, the procedure is almost identical, with the difference that the standard is published by other institutions.

Poland

Pursuant to sec. 13.2 of the Regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration of 27 April 2010 amending the Regulation on the list of products ensuring public safety or health, life and property protection and on the principles of issuing approval for use for these products (Journal of Laws No. 85, item 553), light fittings for emergency lighting are subject to requirements and testing as per PN-EN 60598-2-22 [8].

In connection with the conducted process of approval, the these fittings are subject to testing in accordance with the above standard, including PN-EN 60598-1 [9], PN-EN 61347-2-7 [10] and PN-EN 62034 [11].

Central battery systems, routing systems and emergency lighting systems are subject to the requirements of the national technical assessments issued for the construction products not covered by any Polish Norm.

Pursuant to the Regulation of the Minister of Infrastructure of 12 April 2002 (Journal of Laws No. 75, item 690, as amended), emergency lighting systems should be designed in all civil structures, in which voltage loss in the electric power system could cause danger to human life or health, severe danger to environment or significant material losses.

United Arab Emirates

In the UAE Fire and Life Safety Code of Practice, it is recommended that light fittings for emergency lighting have their own rechargeable batteries or central battery. Following the requirements, the fittings should be installed in all emergency escape routes to enable safe emergency escape of people from the building under fire hazard and illuminate the fire-fighting equipment and, as applicable, the end of high risk operation continuity.

The standard allows three types of emergency lighting system:

- central battery system,
- monitored emergency lighting system,
- standalone emergency lighting fittings (with individual power supply).

Emergency lighting systems should ensure automatic activation in case of primary power supply outage for any of the following reasons:

- failure of electric grid or other external power source;
- primary power supply circuit break connected with fuse failure in the building system;
- manual circuit break activation in the primary power supply circuit.

The standard constitutes the minimum design guidelines and in addition specifies the documents that the designer should consider

opracowywane i publikowane wspólnie z CEN (fr. *Comité Européen de Normalisation*) lub CENELEC (fr. *Comité Européen de Normalisation Electrotechnique*) jako normy DIN EN ISO lub DIN EN.

W innych krajach europejskich procedura jest niemal identyczna, z tą różnicą, że normę publikują inne instytucje.

Polska

Według zapisów pkt. 13.2 rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 27 kwietnia 2010 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz.U. Nr 85 poz. 553) oprawy oświetleniowe do oświetlenia awaryjnego podlegają wymaganiom i badaniom zgodnie z normą PN-EN 60598-2-22 [8].

W związku z prowadzonym procesem dopuszczenia oprawy te podlegają badaniom zgodnie z ww. normą, z uwzględnieniem norm PN-EN 60598-1 [9], PN-EN 61347-2-7 [10] oraz PN-EN 62034 [11].

Systemy centralnej baterii, sterujące oraz oświetlenia awaryjnego podlegają wymaganiom zawartym w krajowych ocenach technicznych wydawanych dla wyrobów budowlanych nieobjętych zakresem przedmiotowym Polskiej Normy.

Zgodnie z zapisami rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. 75 poz. 690 z późn. zm.) instalacje oświetlenia awaryjnego powinny być projektowane we wszystkich obiektach budowlanych, w których zanik napięcia w elektrycznej sieci zasilającej może spowodować zagrożenie życia lub zdrowia ludzi, poważne zagrożenie środowiska, a także znaczne straty materialne.

Zjednoczone Emiraty Arabskie

Standard *UAE Fire and Life Safety Code of Practice* zaleca, aby oprawy oświetleniowe do oświetlenia awaryjnego posiadały własny akumulator lub centralną baterię. Zgodnie z wymaganiami oprawy powinny być montowane na wszystkich drogach ewakuacyjnych, tak aby umożliwiały bezpieczną ewakuację ludzi z obiektu zagrożonego pożarem oraz oświetlały wyposażenie przeciwpożarowe znajdujące się w pobliżu, a także – w określonych przypadkach – umożliwiały zakończenie ciągłości operacji wysokiego ryzyka.

Standard dopuszcza trzy rodzaje systemów oświetlenia awaryjnego:

- system centralnej baterii,
- system oświetlenia awaryjnego typu monitorowanego,
- samodzielne oprawy oświetlenia awaryjnego (z własnym zasilaniem).

Systemy oświetlenia awaryjnego powinny zapewniać automatyczne zadziałanie w przypadku zaniku zasilania podstawowego z któregośkolwiek z poniższych powodów:

- awaria sieci energetycznej lub innego zewnętrznego źródła zasilania;
- przerwa w obwodzie zasilania podstawowego w związku z uszkodzeniem bezpiecznika w instalacji budynku;
- ręczne zainicjowanie przerwy w obwodzie zasilania podstawowego.

in the development of the emergency lighting system (i.e. NFPA 101, NFPA 70, NFPA 110).

The Netherlands

Pursuant to the Decree of 29 August 2011, establishing the regulations for the construction, use and demolition of construction works (Bouwbesluit 2012), [12] the building with emergency lighting installed should be safe to use and enable safe emergency escape in case of danger.

To enable safe emergency escape in case of power supply failure, the lighting system must be connected to the emergency power (emergency lighting).

Detailed design guidelines for emergency lighting are specified in NEN-EN 1838: 2013.

Norway

The document *Regulations on technical requirements for construction works* [13], published in July 2017, introduced regulations on the design and placement of emergency lighting in places, in which employees may be exposed to the danger of artificial lighting failure. Pursuant to them, emergency escape routes and emergency exits should be equipped with emergency lights sufficient to meet the requirement in case of primary lighting failure.

Detailed design guidelines for emergency lighting are found in NS-EN 1838: 2013.

USA

Emergency lighting in the United States should be designed as per NFPA 70 and NFPA 101. The provisions of the former reference document specify that emergency lighting includes all required exit measures, illuminated signs and all other light sources designated as necessary to ensure proper lighting. In addition, it is required to ensure 26-hour emergency lighting in the site supervision station room.

Emergency lighting systems must be designed and installed so that the failure of any lighting component (i.e. bulb burnout) does not leave the room requiring emergency lighting in total darkness. If high intensity discharge lighting, such as high and low pressure sodium, mercury vapour and metal halide, is used as the only primary lighting source, the emergency lighting system must operate until normal lighting is restored, however alternative measures are permissible to maintain the emergency lighting level.

Standard stanowi minimalne wytyczne projektowe, dodatkowo określa dokumenty, które projektant powinien uwzględnić podczas przygotowania instalacji oświetlenia awaryjnego (tj. NFPA 101, NFPA 70, NFPA 110).

Holandia

Zgodnie z dekretem z dnia 29 sierpnia 2011 r. ustanawiającym przepisy dotyczące budowy, użytkowania i rozbiórki robót budowlanych (Bouwbesluit 2012) [12] budynek, w którym zostało zainstalowane oświetlenie awaryjne powinien być bezpieczny w użytkowaniu oraz umożliwiać bezpieczną ewakuację w przypadku wystąpienia zagrożenia.

Aby ewakuacja przebiegała bezpiecznie w przypadku awarii zasilania, instalacja oświetleniowa musi być podłączona do zasilania awaryjnego (oświetlenie awaryjne).

Szczegółowe wytyczne projektowe dla oświetlenia awaryjnego określono w normie NEN-EN 1838: 2013.

Norwegia

Dokument pt. *Regulations on technical requirements for construction works* [13], opublikowany w lipcu 2017 r. wprowadza przepisy dotyczące projektowania i rozmieszczenia oświetlenia awaryjnego w miejscach, w których pracownicy mogą być narażeni na niebezpieczeństwo awarii sztucznego oświetlenia. Według nich drogi ewakuacyjne i wyjścia awaryjne powinny być wyposażone w światła awaryjne wystarczające do zaspokojenia potrzeb w przypadku awarii oświetlenia podstawowego.

Szczegółowe wytyczne projektowe dla oświetlenia awaryjnego można znaleźć w normie NS-EN 1838: 2013.

USA

Oświetlenie awaryjne w Stanach Zjednoczonych powinno być projektowane zgodnie ze standardami NFPA 70 i NFPA 101. Zapisy pierwszego z przywołanych dokumentów precyzują, że oświetlenie awaryjne obejmuje wszystkie wymagane środki wyjścia, oświetlone znaki i wszystkie inne źródła światła określone jako niezbędne do zapewnienia odpowiedniego oświetlenia. Dodatkowo konieczne jest zapewnienie 26-godzinnego oświetlenia awaryjnego w pomieszczeniu, w którym znajduje się stacja nadzoru obiektu.

Systemy oświetlenia awaryjnego muszą być zaprojektowane i zainstalowane w taki sposób, aby awaria dowolnego elementu oświetleniowego (np. wypalenie żarówki) nie pozostawiała w całkowitej ciemności przestrzeni wymagającej oświetlenia awaryjnego. W przypadku, gdy oświetlenie wyładowcze dużej intensywności, takie jak sód o wysokim i niskim ciśnieniu, para rtęci i halogenek metalu, jest stosowane jako jedyne źródło oświetlenia podstawowego, system oświetlenia awaryjnego musi działać do momentu przywrócenia normalnego oświetlenia, aczkolwiek dozwolone są alternatywne środki zapewniające utrzymanie poziomu oświetlenia awaryjnego.

United Kingdom

In accordance with the document *The Building Regulation 2010 – Fire safety* [14], all emergency escape routes should be equipped with suitable artificial lighting. In case of electric power failure, emergency escape lighting should illuminate the route (including external emergency escape routes).

In addition, emergency escape lighting should be in accordance with BS 5266-1 *Emergency lighting – Part 1: Code of practice for the emergency escape lighting of premises* [15], which stipulates that in emergency escape routes horizontal lighting on the floor along the centre line with the width of up to 2 m should be at least 1 lx, however some existing systems may have been designed with precision of minimum 0.2 lx along the centre line of the emergency escape route. These systems may require inspection to check if their lighting level remains acceptable for the application.

The illumination, including ensuring appropriate illumination at exit doors and in other locations, which should be emphasised, and response times are specified in BS EN 1838, sec. 4, like in Polish requirements.

The location of emergency lighting is in accordance with the guidelines applicable in Poland, i.e. as per PN-EN 1838 and PN-EN 50172.

Wielka Brytania

Zgodnie z dokumentem pt. *The Building Regulation 2010 – Fire safety* [14] wszystkie drogi ewakuacyjne powinny mieć odpowiednie sztuczne oświetlenie. W przypadku awarii zasilania elektrycznego oświetlenie ewakuacyjne powinno oświetlić trasę (w tym zewnętrzne drogi ewakuacyjne).

Dodatkowo oświetlenie ewakuacyjne powinno być zgodne z normą BS 5266-1 *Emergency lighting – Part 1: Code of practice for the emergency escape lighting of premises* [15] mówiącą, że na drogach ewakuacyjnych oświetlenie poziome na podłodze wzdłuż linii środkowej o szerokości do 2 m nie powinno być mniejsze niż 1 lx, aczkolwiek niektóre istniejące instalacje mogły zostać zaprojektowane z dokładnością do minimum 0,2 lx wzdłuż linii środkowej drogi ewakuacyjnej. Te instalacje mogą wymagać przeglądu w celu weryfikacji, czy ich poziom oświetlenia jest nadal akceptowalny dla aplikacji.

Natężenia oświetlenia, w tym zapewnienie odpowiedniego natężenia oświetlenia przy drzwiach wyjściowych i innych położeniach, które należy podkreślić, oraz czasy reakcji są określone w normie BS EN 1838, pkt 4, podobnie jak w wymaganiach polskich.

Lokalizacja oświetlenia awaryjnego zgodna jest z wytycznymi stosowanymi w Polsce, tj. zgodnie z normą PN-EN 1838 i PN-EN 50172.

Australia

The document *National Construction Code 2022 – Building Code of Australia* describes the requirements that should be met by emergency lighting systems in public utility buildings and presents the requirements on:

- illumination level,
- illumination level maintenance in time,
- fail-safe working time,
- places, in which emergency lighting is required,
- additional requirements for the “Alpine area”,
- special zones lighting,
- classification of buildings:
 - class 1 – residential buildings:
 - class 1a – one or more buildings, jointly forming a single dwelling, including detached house,
 - class 1b – one or more buildings, which jointly form a lodging house, guesthouse, hostel or similar facility with the maximum capacity of 12 people and the usable area of up to 300 m²,
 - class 2 – buildings with at least two units occupied by one person,
 - class 3 – residential buildings for long-term or temporary accommodation for multiple unrelated persons,
 - class 4 – class 5, 6, 7, 8 or 9 residential buildings, forming a single building,
 - class 5 – office building used for professional or commercial purposes,
 - class 6 – stores or other buildings used for retail

Australia

Dokument pt. *National Construction Code 2022 – Building Code of Australia* opisuje wymagania, jakie powinny spełniać systemy oświetlenia awaryjnego w budynkach użyteczności publicznej oraz przedstawia wymagania dotyczące:

- poziomu natężenia światła,
- zapewnienia poziomu natężenia w czasie,
- czasu działania w trybie awaryjnym,
- miejsc, w których oświetlenie awaryjne jest wymagane,
- dodatkowego wymagania dla „obszaru alpejskiego”,
- oświetlenia stref specjalnych,
- klasyfikacji budynków:
 - klasa 1 – budynki mieszkalne:
 - klasa 1a – jeden lub więcej budynków tworzące razem pojedyncze mieszkanie, w tym dom wolnostojący,
 - klasa 1b – jeden lub więcej budynków, które razem stanowią pensjonat, dom gościnny, hostel lub podobny obiekt, który pomieści nie więcej niż 12 osób, o powierzchni użytkowej do 300 m²,
 - klasa 2 – budynki zawierające co najmniej dwa lokale mieszkalne zajmowane przez jedną osobę,
 - klasa 3 – budynki mieszkalne zapewniające długoterminowe lub tymczasowe zakwaterowanie dla kilku niespokrewnionych osób,
 - klasa 4 – budynki mieszkalne klasy 5, 6, 7, 8 lub 9, jeżeli jest to jeden budynek,
 - klasa 5 – budynek biurowy wykorzystywany

- sales of goods or provision of services,
- class 7 – warehouse-type buildings,
- class 8 – process-type buildings,
- class 9 – public buildings:
 - 9a – healthcare buildings,
 - 9b – assembly buildings, including trade workshops or school laboratories,
 - 9c – residential care buildings,
- class 10 – non-habitable buildings:
 - 10a – non-habitable buildings, including private garages, carports, sheds or similar,
 - 10b – structure that is a fence, mast, antenna, retaining wall, pool or similar,
 - 10c – private bushfire shelter.

- w celach zawodowych lub handlowych,
- klasa 6 – sklepy lub inne budynki wykorzystywane do sprzedaży towarów detalicznych lub świadczenia usług,
- klasa 7 – budynki typu magazynowego,
- klasa 8 – budynki typu procesowego,
- klasa 9 – budynki o charakterze publicznym:
 - 9a – budynki opieki zdrowotnej,
 - 9b – budynki przeznaczone na zgromadzenia ludzi, w tym warsztaty handlowe lub laboratorium w szkole,
 - 9c – budynki opieki mieszkaniowej,
- klasa 10 – budynki lub konstrukcje nienadające się do zamieszkania:
 - 10a – budynki nienadające się do zamieszkania, w tym prywatne garaże, wiaty samochodowe, szopy lub podobne,
 - 10b – konstrukcja, która jest ogrodzeniem, masztem, anteną, ścianą oporową, basenem lub podobnym,
 - 10c – prywatne schronienie przed pożarem buszu.

Dynamic lighting systems

Dynamic lighting systems are a relatively new field in the Polish market, not referred to in the Polish standard, thus most requirements in the national technical assessment are derived from lighting fittings for emergency lighting (i.e. PN-EN 60598-1 and PN-EN 60598-2-22) and the German standard DIN VDE V 0108-200 for visual escape routing systems.

Basic requirements of the standard for dynamic lighting systems:

1. Dynamic lighting systems do not replace the required emergency escape lighting, consequently dynamic lighting can be installed as additional protection measure only.
2. Electric-controlled visual escape routing systems should only be supplied from one of the following safety power supply sources:
 - central power supply system as per DIN EN 50171 (VDE 0558-508):2001-11;
 - power supply system with power limit as per DIN EN 50171 (VDE 0558-508):2001-11;
 - single rechargeable battery system.
3. Illuminated safety (emergency) signs and light marker sequences are installed in the lower part of the emergency escape route so that their upper edge is not higher than 40 cm above the floor. Alternatively, they may be placed in the very floor of the emergency escape route.
4. If the width of the emergency escape route is greater than 3.6 m, light marker sequences must be installed on both sides of the emergency escape route. Low-mounted safety (emergency) signs must be placed with the maximum spacing of 10 m and at each turn of the emergency escape route.
5. Low-mounted illuminated safety signs, safety fittings and

Systemy oświetlenia dynamicznego

Systemy oświetlenia dynamicznego są stosunkowo nową dziedziną na polskim rynku, dla której nie ma polskiej normy, dlatego większość wymagań w krajowej ocenie technicznej pochodzi z norm dla opraw oświetleniowych do oświetlenia awaryjnego (tj. PN-EN 60598-1 i PN-EN 60598-2-22), a także normy niemieckiej DIN VDE V 0108-200 dla wizualnych systemów kierowania ewakuacją.

Podstawowe wymagania normy dla systemów oświetlenia dynamicznego:

1. Systemy oświetlenia dynamicznego nie zastępują wymaganego oświetlenia ewakuacyjnego, w związku z czym oświetlenie dynamiczne może być montowane wyłącznie jako dodatkowe zabezpieczenie.
2. Do zasilania sterowanych elektrycznie systemów wizualnych do kierowania ewakuacją należy wykorzystywać jedno z następujących źródeł zasilania do celów bezpieczeństwa:
 - centralny system zasilania zgodnie z normą DIN EN 50171 (VDE 0558-508):2001-11;
 - system zasilania z ograniczeniem mocy zgodnie z normą DIN EN 50171 (VDE 0558-508):2001-11;
 - system z pojedynczym akumulatorem.
3. Podświetlane znaki bezpieczeństwa (awaryjne), oprawy bezpieczeństwa (awaryjne) i sekwencje znaczników świetlnych instalowane są w dolnej części drogi ewakuacyjnej w taki sposób, aby ich górna krawędź nie znajdowała się wyżej niż 40 cm nad podłogą. Alternatywnie można je umieścić w samej podłodze drogi ewakuacyjnej.
4. W przypadku, gdy droga ewakuacyjna ma szerokość większą niż 3,6 m, sekwencje znaczników świetlnych należy instalować po obydwu stronach drogi ewakuacyjnej. Nisko

marker sequences must be activated automatically from the corresponding control panel.

6. Low-mounted illuminated safety signs, safety fittings and marker sequences must be IK07-rated against mechanical impacts as per DIN EN 50102 (VDE 0470-100).
7. Dynamic electric-controlled escape routing system should enable danger course-based control and routing people to safe areas, as well as prevent routing people into danger areas.
8. The system must not affect the operation of other safety systems.
9. If dynamic electric-controlled visual escape routing systems are used, the corresponding risk analysis must be conducted as per DIN EN 61508-5 (VDE 0803-5).
10. The basis for planning, installation and execution of dynamic electric-controlled visual escape routing systems are the provisions of applicable parts of the IEC 61508 series standard.
11. A dynamic electric-controlled visual escape routing system by default determines the first (main) emergency escape route. In case of deviations from the standard emergency escape direction, solutions should be provided to increase visibility, e.g. blinking or flashing illuminated safety signs.
12. The direction determined by the system must be clear. For marking components that are so adjacent that they are located in a single facility in the field of view if the emergency escape direction or course is changed or updated, active marking components switching should be clear and should not cause additional uncertainty or hazard.
13. High-mounted dynamic escape routing systems consist of illuminated safety signs (pictograms) placed at height, which may point to different directions.
14. Low- and high-mounted emergency escape route signs in active dynamic routing systems must always point to the same emergency escape direction.
15. The lighting fittings of the high-mounted routing systems must meet the requirements of DIN EN 60598-1 (VDE 0711-1) and DIN EN 60598-2-22 (VDE 0711-2-22).
16. The technical requirements related to lighting for the high-mounted dynamic routing systems must be compliant with DIN EN 1838 and DIN 4844.
17. Interfaces with new systems must be isolated galvanically to exclude interaction. The failures and faults in one system cannot cause malfunction of another system. A dynamic escape routing system must control the interface and switch to safe mode in case of interface failure.

The system may be equipped with an interface for connecting acoustic signalling systems (e.g. addressable speakers), used to provide information on the emergency escape direction determined by the escape routing system. Acoustic signalling devices may also be used to couple or integrate with visual safety guidance systems as module.

montowane podświetlane znaki bezpieczeństwa (awaryjne) należy umieszczać w maksymalnej odległości co 10 m oraz przy każdej zmianie kierunku drogi ewakuacyjnej.

5. Nisko montowane podświetlane znaki bezpieczeństwa, oprawy bezpieczeństwa i sekwencje znaczników mają być aktywowane automatycznie z odpowiedniej centrali sterowania.
6. Nisko montowane podświetlane znaki bezpieczeństwa, oprawy bezpieczeństwa i sekwencje znaczników muszą być odporne na uderzenia mechaniczne w klasie co najmniej IK07, zgodnie z normą DIN EN 50102 (VDE 0470-100).
7. Dynamiczne, sterowane elektrycznie systemy kierowania ewakuacją powinny umożliwiać sterowanie w zależności od przebiegu zagrożenia oraz wyprowadzenie osób do obszarów bezpiecznych, a także zapobiegać prowadzeniu osób do obszarów niebezpiecznych.
8. Instalacja taka nie może mieć wpływu na działanie innych instalacji zapewniających bezpieczeństwo.
9. Jeśli stosuje się dynamiczne, sterowane elektrycznie wizualne systemy kierowania ewakuacją, to wykonać należy dla nich analizę ryzyka zgodnie z DIN EN 61508-5 (VDE 0803-5).
10. Podstawę planowania, wykonania i eksploatacji dynamicznych, sterowanych elektrycznych wizualnych systemów kierowania ewakuacją stanowią przepisy odpowiednich części norm serii IEC 61508.
11. Dynamiczny, sterowany elektrycznie wizualny system kierowania ewakuacją wyznacza standardowo pierwszą (główną) drogę ewakuacyjną. W przypadku odchyśleń od kierunku standardowego ewakuacji należy zapewnić rozwiązania poprawiające widoczność, np. miganie lub błyskanie podświetlanych znaków bezpieczeństwa.
12. Wyznaczany przez instalację kierunek musi być jednoznaczny. W przypadku elementów znacznikowych, które ze sobą sąsiadują w taki sposób, że znajdują się w jednym obiekcie w polu widzenia, w przypadku zmiany lub aktualizacji kierunku lub przebiegu drogi ewakuacyjnej, należy zapewnić takie przełączanie aktywnych elementów znacznikowych, które będzie jednoznaczne i nie spowoduje żadnej dodatkowej niepewności lub zagrożenia.
13. Montowane wysoko, dynamiczne systemy kierowania ewakuacją składają się z umieszczanych na wysokości podświetlanych znaków (piktogramów) bezpieczeństwa, które mogą wskazywać różne kierunki.
14. Montowane nisko i wysoko znaczniki dróg ewakuacyjnych w ramach aktywnych dynamicznych systemów kierujących muszą wskazywać zawsze ten sam kierunek ewakuacji.
15. Oprawy oświetleniowe montowanych wysoko systemów kierowania muszą spełniać wymagania norm DIN EN 60598-1 (VDE 0711-1) oraz DIN EN 60598-2-22 (VDE 0711-2-22).
16. Techniczne wymagania względem oświetlenia dla montowanych wysoko dynamicznych systemów kierowania muszą być zgodne z normami DIN EN 1838 i DIN 4844.
17. Interfejsy z innymi instalacjami muszą być izolowane galvanicznie w sposób wykluczający oddziaływania wzajemne. Usterki, błędy jednej instalacji lub systemu nie

mogą powodować nieprawidłowego działania drugiego systemu. Dynamiczna instalacja kierowania ewakuacją musi kontrolować interfejs i przełączać się do stanu bezpiecznego w przypadku awarii interfejsu.

System można wyposażyć w interfejs do podłączenia akustycznych instalacji sygnalizacyjnych (np. adresowanych głośników), które służyć będą do przekazywania informacji o kierunku ewakuacji, określonym przez system kierowania ewakuacją. Urządzenia sygnalizacyjne akustyczne można również sprzęgać lub integrować do wizualnych systemów naprowadzania bezpieczeństwa jako moduł.

Analysis and comprison of currenty used standards/norms/guidelines for the design and installation of emergency lighting.

The design guidelines of European countries are primarily based on EN 1838:2013, including additional own requirements. United Arab Emirates have standard *UAE Fire and Life Safety Code of Practice* that details the design requirements and refers to standards from the United States (NFPA). The requirements of NFPA 70 and NFPA 101 are also the main guidelines for the USA, along with the requirements of UL 924, *Emergency Lighting and Power Equipment* [16]. Australia has its own standard that describes design guidelines: *National Construction Code 2022 – Building Code of Australia*.

The requirements of individual countries are compared in the table below.

Analiza i porównanie obecnie stosowanych standardów/norm/wytycznych dotyczących projektowania i instalowania oświetlenia awaryjnego

Wytyczne projektowe krajów europejskich opierają się głównie na normie europejskiej EN 1838:2013, z uwzględnieniem dodatkowych własnych wymagań. Zjednoczone Emiraty Arabskie posiadają standard – *UAE Fire and Life Safety Code of Practice*, który w szczegółowy sposób określa wymagania projektowe oraz odwołuje się do standardów pochodzących ze Stanów Zjednoczonych (NFPA). Wymagania standardów NFPA 70 oraz NFPA 101 są również głównymi wytycznymi dla USA, wraz z wymaganiami określonymi w UL 924, *Emergency Lighting and Power Equipment* [16]. Australia posiada swój własny standard opisujący wytyczne projektowe: *National Construction Code 2022 – Building Code of Australia*.

Porównanie wymagań w poszczególnych krajach przedstawiono w tabeli poniżej.

Table 1. Comparison of requirements for emergency lighting in individual countries
Tabela 1. Porównanie wymagań dla oświetlenia awaryjnego w poszczególnych krajach

Country	1. Application site
Poland	Indoors: – in cinema, theater and philharmonic audiences and other event halls, – auditoriums, conference rooms, entertainment venues and sports halls for more than 200 people, – museum exhibitions, – with the area of more than 1000 m² in artificial lighting only garages. in emergency escape routes: – from rooms listed in section (indent) 1 above, – artificial lighting only, – in hospitals and other buildings intended above all for limited mobility human stay, – in high and super-high-rise public utility and communal housing buildings, – in temporary buildings if they are intended for show or other human assembly purposes, – in pneumatic enclosure rooms if they are intended for use as temporary manufacture and warehousing buildings with the fire load density of the fire zone up to 1000 MJ/m², – in tent-type temporary buildings intended for show purposes, – in dispatch rooms, technical rooms of gas pumping station.
United Arab Emirates	– internal fire pumping station, room in insulating board enclosure and large rooms with plants, – internal and external emergency command centre, – internal and external stairs, – internal elevators, – fire service elevators, – corridor exit, – emergency escape corridors, – internal exit passages, – internal tunnels, – all areas of closed bases and ramps, – service corridors, – emergency exits, – reception desk, – fire control panel location, – indoor hydrant location, – fire extinguisher locations, – first aid kit location, – smoke control panel location, – LPG tank location, – hotel guest room, – device installation locations, – internal commercial kitchen, – kitchen delivery areas, – internal loading and unloading areas, – low voltage system room, – transformer room, – bathrooms.
The Netherlands	Emergency lighting is provided for: – habitable rooms with more than 75 people and every emergency escape route, to which people from that room are assigned during the escape, as long as the routes pass through restricted area; – functional rooms located below the ground floor level (e.g. underground garages, cellars etc.); – emergency escape route located in separate fire zone, with only emergency escape route protected; – road tunnels above 250 m.

2. Fail-safe working time	3. Illumination:
The minimum lighting time in emergency escape route should be 1h.	– For emergency escape routes with the width of up to 2 m, the illumination on the floor in relation to the centre line of the emergency escape route should be not less than 1 lx, while in the central route lane, including not less than half of the route width, the illumination should be at least 50% of the given value. – The average illumination of escape lighting in the open zone should not be lesser than 0.5 lx at floor level, in unused active field of the open zone, except for the peripheral lane with the width of 0.5 m isolated by exclusion of that zone. – In high risk zones, the operating illumination should not be lower than 10% of the operating illumination required for the subject activities, however it should not be lower than 15 lx. The strobe effect should be eliminated. The illumination uniformity in the high risk zone should not be greater than 10:1. – The luminance of every coloured part of the safety sign should be at least 2 cd/m² in all safety-significant view directions. – The ratio of the maximum illumination to the minimum illumination in open zone should not be greater than 40:1. – The minimum value of the colour rendering index Ra for light sources should be 40.
Emergency lighting should be available for 3 hours (180 minutes) immediately after power failure.	– Emergency lighting should provide the initial lighting of not less than 1.1 lx at any point, measured at the floor level along the exit path or 1 m width of the centre line of that exit path. – The lx level drop is acceptable at less than 0.65 lx at the end of the nominal working time of 3 hours at any point, measured at the floor level along the exit path or 1 m width of the centre line of that exit path. – The average initial illumination at the floor level along the exit path or 1 m width of the centre line of that exit path cannot be lower than 10.8 lx. – The maximum to minimum lighting ratio cannot exceed 40:1. – In open areas that are not exit routes and where lighting is provided to prevent human panic caused by darkness, it is permitted to lower the lx level to 0.5 lx at the end of the nominal fail-safe working time of 3 hours at any point. – High risk areas, in which operations must be safely disabled or terminated, the initial average lx level cannot be lower than 12 lx and the illumination value cannot drop below 1.8 lx at the floor level.
The minimum lighting time in emergency escape route should be 1 h.	– For emergency escape routes with the width of up to 2 m, the illumination on the floor in relation to the centre line of the emergency escape route should be not less than 1 lx, while in the central route lane, including not less than half of the route width, the illumination should be at least 50% of the given value. – The average illumination of escape lighting in the open zone should not be lesser than 0.5 lx at floor level, in unused active field of the open zone, except for the peripheral lane with the width of 0.5 m isolated by exclusion of that zone. – In high risk zones, the operating illumination should not be lower than 10% of the operating illumination required for the subject activities, however it should not be lower than 15 lx. The strobe effect should be eliminated. The illumination uniformity in the high risk zone should not be greater than 10:1. – The luminance of every coloured part of the safety sign should be at least 2 cd/m² in all safety-significant view directions. – The ratio of the maximum illumination to the minimum illumination in open zone should not be greater than 40:1. – The minimum value of the colour rendering index Ra for light sources should be 40.

Country	1. Application site
Norway	Emergency escape routes and emergency exits equipped with emergency lights sufficient to meet the requirement in case of primary lighting failure.
USA	– high buildings, – private party tents with the area not exceeding 112 m², – education facilities, – daycare facilities, in the following places: • internal stairs and corridors, • useful spaces, • flexible and open buildings, • internal or restricted parts of buildings, • shops and laboratories, – healthcare facilities, – outpatient healthcare facilities, – prisons, – hotel or multi-person facilities, – all building with the height of four or more floors or more than 12 residential units, unless every residential unit has a direct exit from the building to the ground level, – residence or care buildings, unless every bedroom has a direct exit from the building at the ground level, – class a (all useful premises with the total gross area exceeding 2800 m² or covering more than three floors for sales purposes) and class b commercial premises (all useful premises with the total gross area greater than 280 m², but not greater than 2800 m²) and covering not more than three floors for sales purposes and all commercial occupancies with the gross area not greater than 3000 ft² (280 m²) and covering two or three floors for sales purposes), – useful premises, to which one of the following conditions applies: • the building is three or more floors high, • new facility with the occupancy of 50 or more people or below the possible escape level, • existing facility with the occupancy of 100 or more people or below the possible escape level, • new facility, which may be occupied by at least 300 people, • existing facility, which may be occupied by at least 1000 people, – industrial facilities (emergency lighting is not required if: not intended for routine residence of people or facilities are occupied only in day hours, with skylights or windows set to ensure the required illumination in all emergency exits in these hours), – warehouses, – underground floors and restricted access facilities, – facilities with doors equipped with delayed exit locks, – stairs and lobbies of smoke control enclosures, it is permitted that the stair shaft and lobby enclose a back-up generator, which is installed for the mechanical ventilation of the smoke control enclosure.
United Kingdom	– rooms used as sleeping places (rooms such as hospitals, nursing homes, hotels, lodging houses, some clubs, universities and boarding schools), – non-habitable rooms used for treatment or care. (special schools, clinics and similar room), – non-habitable premises used for recreation purposes (theatres, cinemas, concert halls, exhibition halls, sports halls, public houses and restaurants). – non-habitable rooms used for teaching, training and testing and offices (schools, universities, technical institutes and laboratories), – non-habitable public premises (town hall, libraries, stores, shopping centres, art galleries and museums), – industrial rooms used for manufacture, processing or storage of products (factories, workshops, warehouses and similar facilities), – multi-functional rooms, where every room belongs to more than one broad class, – common emergency escape routes in residential buildings, – roofed car parks, – sports stadiums.

2. Fail-safe working time	3. Illumination:
The minimum lighting time in emergency escape route should be 1h.	– For emergency escape routes with the width of up to 2 m, the illumination on the floor in relation to the centre line of the emergency escape route should be not less than 1 lx, while in the central route lane, including not less than half of the route width, the illumination should be at least 50% of the given value. – The average illumination of escape lighting in the open zone should not be lesser than 0.5 lx at floor level, in unused active field of the open zone, except for the peripheral lane with the width of 0.5 m isolated by exclusion of that zone. – In high risk zones, the operating illumination should not be lower than 10% of the operating illumination required for the subject activities, however it should not be lower than 15 lx. The strobe effect should be eliminated. The illumination uniformity in the high risk zone should not be greater than 10:1. – The luminance of every coloured part of the safety sign should be at least 2 cd/m² in all safety-significant view directions. – The ratio of the maximum illumination to the minimum illumination in open zone should not be greater than 40:1. – The minimum value of the colour rendering index Ra for light sources should be 40.
Emergency lighting provides at least 1.5 hours in case of normal lighting failure.	– Emergency lighting must be installed to ensure the initial lighting of less than 10.8 lx on average and, at any point, not less than 1.1 lx measured along the exit route at the floor level. – It is permitted that the lighting level drops to not less than 6.5 lx on average and, at any point, not less than 0.65 lx at the end of 1.5 hours. – The maximum to minimum lighting ratio cannot exceed 40:1.
– For emergency lighting, use minimum 3 hours if the rooms are not evacuated immediately in case of power failure, such as places of sleep or entertainment, or if the rooms are re-occupied without waiting for the batteries to recharge. – The minimum fail-safe working time of 1 h should be used only when the area is evacuated immediately after power failure and not re-occupied until the batteries are restored to full level.	– For emergency escape routes with the width of up to 2 m, the illumination on the floor in relation to the centre line of the emergency escape route should be not less than 1 lx, while in the central route lane, including not less than half of the route width, the illumination should be at least 50% of the given value. The average illumination of escape lighting in the open zone should not be lesser than 0.5 lx at floor level, in unused active field of the open zone, except for the peripheral lane with the width of 0.5 m isolated by exclusion of that zone. – In high risk zones, the operating illumination should not be lower than 10% of the operating illumination required for the subject activities, however it should not be lower than 15 lx. The strobe effect should be eliminated. The illumination uniformity in the high risk zone should not be greater than 10:1. – The luminance of every coloured part of the safety sign should be at least 2 cd/m² in all safety-significant view directions. – The ratio of the maximum illumination to the minimum illumination in open zone should not be greater than 40:1. – The minimum value of the colour rendering index Ra for light sources should be 40.

Country	1. Application site
Australia	– for every fire-insulated stairs, fire-insulated passage or fire-insulated ramp, – at every floor of class 5, 6, 7, 8 or 9 building, with the floor area of more than 300 m², – in every passage, corridor etc. This is part of exit route, – in each room with the floor area of more than 100 m², which does not open to a corridor or space equipped with emergency lighting or to route or open space, – in every room with the floor area greater than 300 m², – in every passage, corridor etc. with the length greater than 6 m from entry doors from a single person residential premise to safe area in class 2 or 3 building or part of class 4 building to the nearest building, doors opening directly to: • fire-insulated stairs, fire-insulated passage or ramp or • external stairs used instead of fire-insulated stairs, • external balcony leading to fire-insulated stairs, fire-insulated corridors or fire-insulated ramps; – route or open space; – on all required non-insulated stairs; – In a single-person class 5, 6 or 9 room, if: • the floor area of a unit is more than 300 m², • the exit from the unit does not open to route or open space or external stairs, passage, balcony or ramp, leading directly to route or open space; – in every room or space, which is publicly accessible at every floor of class 6 or 9b building, if: • The floor area at every floor is more than 300 m², or • any point on the floor of that floor is located at the distance of more than 20 m from the nearest doors directly to the stairs, ramp, corridor, router or open space, or • the exit from that floor results in the vertical increase of more than 1.5 m or any vertical increase in the building if the given floor does not transmit enough light, or • the floor provides the travel path from any other floor required to have emergency lighting by (a), (b) or (c); – in class 9a healthcare building: • in every corridor etc., including the treatment zone or department zone, • in every room with the area greater than 120 m² in patient care area; – in every class 9c building excluding single-person units; – in every required fire protection control centre.

Kraj	1. Miejsce zastosowania
Polska	W pomieszczeniach: – widowniach kin, teatrów i filharmonii oraz innych salach widowiskowych, – audytoriach, salach konferencyjnych, lokalach rozrywkowych oraz salach sportowych przeznaczone dla ponad 200 osób, – wystawowych w muzeach, – o powierzchni ponad 1000 m² w garażach oświetlonych wyłącznie światłem sztucznym. – na drogach ewakuacyjnych: – z pomieszczeń wymienionych w punkcie (tiret) 1 wyżej, – oświetlonych wyłącznie światłem sztucznym, – w szpitalach i innych budynkach przeznaczonych przede wszystkim do pobytu ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się, – w wysokich i wysokościowych budynkach użyteczności publicznej i zamieszkania zbiorowego, – w budynkach tymczasowych, jeżeli są przeznaczone na cele widowiskowe lub inne zgromadzenia ludzi. – w pomieszczeniach z obudową pneumatyczną, jeżeli mają być wykorzystywane jako tymczasowe budynki PM o gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej do 1000 MJ/m², – w tymczasowych budynkach typu namiotowego przeznaczonych do celów widowiskowych – w pomieszczeniach dyspozytorni, technicznych pomieszczeniach tłoczni gazu.
Zjednoczone Emiraty Arabskie	– wewnętrzna pompownia pożarowa, pomieszczenie w zabudowie z płyty izolacyjnej i duże pomieszczenia z roślinami, – wewnętrzne i zewnętrzne centrum poleceń awaryjnych, – wewnętrzne i zewnętrzne schody, – windy wewnętrzne, – windy dla straży pożarnej, – wyjście z korytarzy, – korytarze ewakuacyjne, – wewnętrzne pasaże wyjścia, – tunele wewnętrzne, – wszystkie obszary zamkniętych podstaw i ramp, – korytarze usługowe, – wyjścia ewakuacyjne, – recepcja, – lokalizacja centrali przeciwpożarowej,

2. Fail-safe working time**3. Illumination:**

The emergency lighting system must work at the minimum required illumination level for not less than 90 minutes.

- The calculated horizontal illumination is not smaller than:
 - 0.2 lx at the floor level along the route to exit,
 - 1 lx at every floor level or step.
- Emergency lighting ensures the illumination level not smaller than:
 - 10% of the required illumination within 1 s of shut-down,
 - 80% of the required illumination within 15 s of shut-down,
 - full illumination level within 60 s of power shut-down.
- The fire service room is used to direct fire service operations, which includes such activities, as referring to building plans and reading other information. Thus, the level of emergency lighting in the room must be increased to 400 lx.
- Car elevators must have a designed emergency lighting system that should be activated automatically in case of the normal lighting power failure to provide at least 20 lx lighting for 2 hours at the alarm initiation button.

2. Czas pracy awaryjnej**3. Natężenie oświetlenia**

Minimalny czas oświetlenia na drodze ewakuacyjnej powinien wynosić 1h.

- W przypadku dróg ewakuacyjnych o szerokości do 2 m, natężenie oświetlenia na podłodze względem środkowej linii drogi ewakuacyjnej powinno być nie mniejsze niż 1 lx, a na centralnym pasie drogi, obejmującym nie mniej niż połowę szerokości drogi, natężenie oświetlenia powinno stanowić co najmniej 50% podanej wartości.
- Średnie natężenie oświetlenia ewakuacyjnego w strefie otwartej nie powinno być mniejsze niż 0,5 lx na poziomie podłogi, na niezabudowanym polu czynnym strefy otwartej, z wyjątkiem wyodrębnionego przez wyłączenie z tej strefy obwodowego pasa o szerokości 0,5m.
- W strefach wysokiego ryzyka eksploatacyjne natężenie oświetlenia na płaszczyźnie odniesienia nie powinno być mniejsze niż 10% eksploatacyjnego natężenia oświetlenia wymaganego dla danych czynności, jednakże nie powinno być mniejsze niż 15 lx. Należy wyeliminować efekt stroboskopowy. Równomierność natężenia oświetlenia w strefie wysokiego ryzyka nie powinna być większa niż 10:1.
- Luminancja każdej części barwnej znaku bezpieczeństwa powinna wynosić co najmniej 2 cd/m² we wszystkich kierunkach widzenia mających znaczenie dla bezpieczeństwa.
- Stosunek maksymalnego natężenia oświetlenia do minimalnego natężenia oświetlenia w strefie otwartej nie powinien być większy niż 40:1.
- Minimalna wartość wskaźnika oddawania barw Ra dla źródeł światła powinna wynosić 40.

Oświetlenie awaryjne powinno być dostępne przez 3 godziny (180 minut) natychmiast po awarii zasilania.

- Oświetlenie awaryjne powinno zapewnić początkowe oświetlenie nie mniejsze niż 1,1 lx w dowolnym punkcie, mierzone na poziomie podłogi wzdłuż ścieżki wyjściowej lub 1 m szerokości linii środkowej tej ścieżki wyjściowej.
- Dopuszcza się spadek poziomu luksów do nie mniej niż 0,65 lx pod koniec znamionowego czasu pracy równego 3 godziny w dowolnym punkcie, mierzonym na poziomie podłogi wzdłuż ścieżki wyjściowej lub 1 m szerokości linii środkowej tej ścieżki wyjściowej.
- Średnie początkowe oświetlenie na poziomie podłogi wzdłuż ścieżki wyjściowej lub szerokość 1 m linii środkowej tej ścieżki wyjściowej nie może być mniejsza niż 10,8 lx.
- Maksymalny i minimalny stosunek oświetlenia nie może przekraczać 40:1.
- Otwarte obszary, które nie są drogami wyjściowymi i gdzie zapewnione jest oświetlenie w celu uniknięcia paniki ludzi z powodu ciemności, zezwala się na obniżenie poziomu luksów do 0,5 lx, pod koniec znamionowego czasu pracy awaryjnej równego 3 godzin, w dowolnym punkcie.
- Obszary wysokiego ryzyka, w których operacje muszą być bezpiecznie wyłączone lub zakończone, początkowy średni poziom luksów nie może być mniejszy niż 12 lx, a w żadnym punkcie wartość natężenie nie może spaść poniżej 1,8 lx na poziomie podłogi.

Kraj	1. Miejsce zastosowania
Zjednoczone Emiraty Arabskie	– lokalizacja hydrantu wewnętrznego, – lokalizacja gaśnic, – lokalizacja zestawu pierwszej pomocy – lokalizacja panelu kontroli dymu, – lokalizacja zbiornika LPG, – pokój gościnny hotelu, – miejsca montażu urządzeń, – wewnętrzna kuchnia handlowa, – obszary dostawy kuchni, – obszary załadunku i rozładunku wewnętrznego, – pomieszczenie instalacji niskiego napięcia – pomieszczenie transformatora, – łazienki.
Holandia	Oświetlenie awaryjne jest przewidziane dla: – pomieszczeń mieszkalnych z więcej niż 75 osobami i każdej drogi ewakuacyjnej, na której osoby z tego pomieszczenia są wyznaczone podczas ucieczki, o ile trasy te przechodzą przez ograniczoną przestrzeń; – pomieszczeń funkcjonalnych znajdujących się poniżej poziomu parteru (np. garaże podziemne, piwnic, itp.); – drogi ewakuacyjnej zlokalizowanej w oddzielnej strefie pożarowej, z zabezpieczoną jedynie drogą ewakuacyjną; – tuneli drogowych powyżej 250 m.
Norwegia	Drogi ewakuacyjne i wyjścia awaryjne wyposażone w światła awaryjne wystarczające do zaspokojenia potrzeb w przypadku awarii oświetlenia podstawowego.
USA	– budynki wysokie, – prywatne namioty imprezowe o powierzchni nieprzekraczającej 112 m², – obiekty edukacyjne, – obiekty opieki dziennej, w następujących miejscach: ▪ schody wewnętrzne i korytarze ▪ przestrzenie użytkowe ▪ elastyczne i otwarte budynki ▪ wewnętrzne lub ograniczone części budynków ▪ sklepy i laboratoria, – obiekty opieki zdrowotnej, – ambulatoryjne obiekty opieki zdrowotnej, – zakłady karne, – obiekty hotelowe lub wieloosobowe, – wszystkie budynki o wysokości czterech lub więcej pięter lub więcej niż 12 jednostek mieszkalnych, chyba że każda jednostka mieszkalna ma bezpośrednie wyjście na zewnątrz budynku na poziom terenu, – budynki mieszkalne lub opieki, chyba że każdy pokój sypialny ma bezpośrednie wyjście na zewnątrz na poziom gruntu,

2. Czas pracy awaryjnej	3. Natężenie oświetlenia
Oświetlenie awaryjne powinno być dostępne przez 3 godziny (180 minut) natychmiast po awarii zasilania.	– Oświetlenie awaryjne powinno zapewnić początkowe oświetlenie nie mniejsze niż 1,1 lx w dowolnym punkcie, mierzone na poziomie podłogi wzdłuż ścieżki wyjściowej lub 1 m szerokości linii środkowej tej ścieżki wyjściowej. – Dopuszcza się spadek poziomu luksów do nie mniej niż 0,65 lx pod koniec znamionowego czasu pracy równego 3 godziny w dowolnym punkcie, mierzonym na poziomie podłogi wzdłuż ścieżki wyjściowej lub 1 m szerokości linii środkowej tej ścieżki wyjściowej. – Średnie początkowe oświetlenie na poziomie podłogi wzdłuż ścieżki wyjściowej lub szerokość 1 m linii środkowej tej ścieżki wyjściowej nie może być mniejsza niż 10,8 lx. – Maksymalny i minimalny stosunek oświetlenia nie może przekraczać 40:1. – Otwarte obszary, które nie są drogami wyjściowymi i gdzie zapewnione jest oświetlenie w celu uniknięcia paniki ludzi z powodu ciemności, zezwala się na obniżenie poziomu luksów do 0,5 lx, pod koniec znamionowego czasu pracy awaryjnej równego 3 godzin, w dowolnym punkcie. – Obszary wysokiego ryzyka, w których operacje muszą być bezpiecznie wyłączone lub zakończone, początkowy średni poziom luksów nie może być mniejszy niż 12 lx, a w żadnym punkcie wartość natężenie nie może spaść poniżej 1,8 lx na poziomie podłogi.
Minimalny czas oświetlenia na drodze ewakuacyjnej powinien wynosić 1 h.	– W przypadku dróg ewakuacyjnych o szerokości do 2 m natężenie oświetlenia na podłodze względem środkowej linii drogi ewakuacyjnej powinno być nie mniejsze niż 1 lx, a na centralnym pasie drogi, obejmującym nie mniej niż połowę szerokości drogi, natężenie oświetlenia powinno stanowić co najmniej 50% podanej wartości. – Średnie natężenie oświetlenia ewakuacyjnego w strefie otwartej nie powinno być mniejsze niż 0,5 lx na poziomie podłogi, na niezabudowanym polu czynnym strefy otwartej, z wyjątkiem wyodrębnionego przez wyłączenie z tej strefy obwodowego pasa o szerokości 0,5 m. – W strefach wysokiego ryzyka eksploatacyjne natężenie oświetlenia na płaszczyźnie odniesienia nie powinno być mniejsze niż 10% eksploatacyjnego natężenia oświetlenia wymaganego dla danych czynności, jednakże nie powinno być mniejsze niż 15 lx. Należy wyeliminować efekt stroboskopowy. Równomierność natężenia oświetlenia w strefie wysokiego ryzyka nie powinna być większa niż 10:1. – Luminancja każdej części barwnej znaku bezpieczeństwa powinna wynosić co najmniej 2 cd/m² we wszystkich kierunkach widzenia mających znaczenie dla bezpieczeństwa. – Stosunek maksymalnego natężenia oświetlenia do minimalnego natężenia oświetlenia w strefie otwartej nie powinien być większy niż 40:1. – Minimalna wartość wskaźnika oddawania barw Ra dla źródeł światła powinna wynosić 40.
Minimalny czas oświetlenia na drodze ewakuacyjnej powinien wynosić 1h.	– W przypadku dróg ewakuacyjnych o szerokości do 2 m natężenie oświetlenia na podłodze względem środkowej linii drogi ewakuacyjnej powinno być nie mniejsze niż 1 lx, a na centralnym pasie drogi, obejmującym nie mniej niż połowę szerokości drogi, natężenie oświetlenia powinno stanowić co najmniej 50% podanej wartości. – Średnie natężenie oświetlenia ewakuacyjnego w strefie otwartej nie powinno być mniejsze niż 0,5 lx na poziomie podłogi, na niezabudowanym polu czynnym strefy otwartej, z wyjątkiem wyodrębnionego przez wyłączenie z tej strefy obwodowego pasa o szerokości 0,5 m. – W strefach wysokiego ryzyka eksploatacyjne natężenie oświetlenia na płaszczyźnie odniesienia nie powinno być mniejsze niż 10% eksploatacyjnego natężenia oświetlenia wymaganego dla danych czynności, jednakże nie powinno być mniejsze niż 15 lx. Należy wyeliminować efekt stroboskopowy. Równomierność natężenia oświetlenia w strefie wysokiego ryzyka nie powinna być większa niż 10:1. – Luminancja każdej części barwnej znaku bezpieczeństwa powinna wynosić co najmniej 2 cd/m² we wszystkich kierunkach widzenia mających znaczenie dla bezpieczeństwa. – Stosunek maksymalnego natężenia oświetlenia do minimalnego natężenia oświetlenia w strefie otwartej nie powinien być większy niż 40:1. – Minimalna wartość wskaźnika oddawania barw Ra dla źródeł światła powinna wynosić 40.
Oświetlenie awaryjne zapewnia się przez co najmniej 1,5 godziny w przypadku awarii normalnego oświetlenia.	– Należy zainstalować oświetlenie awaryjne zapewniające początkowe oświetlenie nie mniejsze niż średnio 10,8 lx w dowolnym punkcie i nie mniej niż 1,1 lx mierzone wzdłuż ścieżki wyjścia na poziomie podłogi. – Dopuszcza się, aby poziomy oświetlenia obniżyły się do nie mniej niż średnio 6,5 lx w dowolnym momencie nie mniej niż 0,65 lx pod koniec 1,5 godzin. – Oświetlenie maksymalne do minimalnego nie może przekraczać stosunku 40:1.

Kraj	1. Miejsce zastosowania
USA	– lokale handlowe klasy a (wszystkie lokale użytkowe o łącznej powierzchni brutto przekraczającej 2800 m² lub zajmujące więcej niż trzy piętra w celach sprzedażowych) oraz klasy b (wszystkie lokale użytkowe o łącznej powierzchni brutto większej niż 280 m², ale nie większej niż 2800 m²) i zajmujące nie więcej niż trzy piętra w celach sprzedażowych oraz wszystkie obłożenia handlowe o powierzchni brutto nie większej niż 3000 ft² (280 m²) i zajmujące dwa lub trzy piętra w celach sprzedażowych), – lokale użytkowe, w których występuje jeden z warunków: • budynek ma trzy lub więcej pięter wysokości, • nowy obiekt z obłożeniem 50 lub więcej osób lub poniżej poziomu możliwej ewakuacji, • obiekt istniejący z obłożeniem 100 lub więcej osób lub poniżej poziomu możliwej ewakuacji, • nowy obiekt, w którym obłożenie może zająć co najmniej 300 osób, • istniejący obiekt, w którym obłożenie może zająć co najmniej 1000 osób, – zakłady przemysłowe (nie wymaga się zastosowania oświetlenia awaryjnego jeżeli: nie ma przeznaczenia rutynowego zamieszkania przez ludzi lub obiekty zajmowane są tylko w godzinach dziennych, ze świetlikami lub oknami ustawionymi tak, aby zapewnić wymagany poziom oświetlenia na wszystkich wyjściach ewakuacyjnych w tych godzinach), – magazyny, – kondygnacje podziemne i obiekty o ograniczonym dostępie, – obiekty wyposażone w drzwi wyposażone w zamki z opóźnionym wyjściem, – schody i przedsionki obudów dymoszczelnych, w których dopuszcza się, aby szyb schodowy i przedsionek zawierały generator rezerwowy, który jest zainstalowany dla wyposażenia mechanicznej wentylacji obudowy dymoszczelnej.
Wielka Brytania	– pomieszczenia wykorzystywane jako miejsca do spania (pomieszczenia takie jak szpitale, domy opieki, hotele, pensjonaty, niektóre kluby, uczelnie i szkoły z internatem), – pomieszczenia niemieszkalne wykorzystywane do leczenia lub opieki. (szkoły specjalne, kliniki i podobne pomieszczenia), – lokale niemieszkalne wykorzystywane do rekreacji (teatry, kina, sale koncertowe, sale wystawowe, hale sportowe, domy publiczne i restauracje). – pomieszczenia niemieszkalne wykorzystywane do nauczania, szkolenia i badań oraz biura (szkoły, uczelnie, instytuty techniczne i laboratoria), – lokale publiczne niemieszkalne (ratusz, biblioteki, sklepy, centra handlowe, galerie sztuki i muzea). – pomieszczenia przemysłowe wykorzystywane do produkcji, przetwarzania lub przechowywania produktów (fabryki, warsztaty, magazyny i podobne zakłady), – pomieszczenia o wielu funkcjach, gdzie dowolne pomieszczenia należą do więcej niż jednej z szerokich klas, – wspólne drogi ewakuacyjne w budynkach mieszkalnych, – zadaszone parkingi, – stadiony sportowe.
Australia	– na każdym izolowanych od ognia schodach, izolowanym od ognia przejściu lub izolowanej od ognia rampie; – w każdej kondygnacji budynku klasy 5, 6, 7, 8 lub 9, w którym kondygnacja ma powierzchnię ponad 300 m² – w każdym przejściu, korytarzu, itp. Stanowi to część drogi do wyjścia; – w każdym pomieszczeniu o powierzchni podłogi większej niż 100 m², która nie otwiera się na korytarz lub przestrzeń wyposażoną w oświetlenie awaryjne ani na drogę lub otwartą przestrzeń; – w każdym pomieszczeniu o powierzchni podłogi większej niż 300 m²; – w każdym przejściu, korytarzu itp. o długości większej niż 6 m od drzwi wejściowych z jednoosobowego lokalu mieszkalnego do bezpiecznego miejsca w budynku klasy 2 lub 3 lub części budynku klasy 4 do najbliższego budynku otwieranie drzwi bezpośrednio do: • izolowanych od ognia schodów, izolowanych od ognia przejścia lub rampy lub • schodów zewnętrznych służących zamiast schodów izolowanych od ognia, • balkonu zewnętrznego prowadzącego do izolowanych od ognia schodów, izolowanych od ognia korytarzy lub izolowanych od ognia pochylni; – droga lub otwarta przestrzeń; – na wszystkich wymaganych schodach nieizolowanych; – w jednoosobowym pomieszczeniu klasy 5, 6 lub 9, jeżeli: • powierzchnia podłogi jednostki wynosi ponad 300 m², • wyjście z jednostki nie otwiera się na drogę lub otwartą przestrzeń lub na zewnętrzne schody, przejście, balkon lub rampę, prowadzące bezpośrednio do drogi lub otwartej przestrzeni;

2. Czas pracy awaryjnej

3. Natężenie oświetlenia

Oświetlenie awaryjne zapewnia się przez co najmniej 1,5 godziny w przypadku awarii normalnego oświetlenia.

- Należy zainstalować oświetlenie awaryjne zapewniające początkowe oświetlenie nie mniejsze niż średnio 10,8 lx i, w dowolnym punkcie, nie mniej niż 1,1 lx mierzone wzdłuż ścieżki wyjścia na poziomie podłogi.
- Dopuszcza się, aby poziomy oświetlenia obniżyły się do nie mniej niż średnio 6,5 lx i, w dowolnym momencie, nie mniej niż 0,65 lx pod koniec 1,5 godzin.
- Oświetlenie maksymalne do minimalnego nie może przekraczać stosunku 40:1.

- Na awaryjne oświetlenie ewakuacyjne należy zastosować minimum 3 godziny, jeżeli pomieszczenia nie zostaną natychmiast ewakuowane w przypadku awarii zasilania, takich jak miejsce do spania lub miejsca rozrywki, lub jeśli pomieszczenia zostaną ponownie zajęte po przywróceniu zasilania bez oczekiwania na naładowanie baterii.
- Minimalny czas pracy awaryjnej 1 h powinien być stosowany tylko wtedy, gdy będzie to miejsce ewakuowane natychmiast po awarii zasilania i nie są ponownie zajmowane, dopóki baterie nie zostaną przywrócone do pełnej pojemności.

- W przypadku dróg ewakuacyjnych o szerokości do 2 m natężenie oświetlenia na podłodze względem środkowej linii drogi ewakuacyjnej powinno być nie mniejsze niż 1 lx, a na centralnym pasie drogi, obejmującym nie mniej niż połowę szerokości drogi, natężenie oświetlenia powinno stanowić co najmniej 50% podanej wartości. Średnie natężenie oświetlenia ewakuacyjnego w strefie otwartej nie powinno być mniejsze niż 0,5 lx na poziomie podłogi, na niezabudowanym polu czynnym strefy otwartej, z wyjątkiem wyodrębnionego przez wyłączenie z tej strefy obwodowego pasa o szerokości 0,5 m.
- W strefach wysokiego ryzyka eksploatacyjne natężenie oświetlenia na płaszczyźnie odniesienia nie powinno być mniejsze niż 10% eksploatacyjnego natężenia oświetlenia wymaganego dla danych czynności, jednakże nie powinno być mniejsze niż 15 lx. Należy wyeliminować efekt stroboskopowy. Równomierność natężenia oświetlenia w strefie wysokiego ryzyka nie powinna być większa niż 10:1.
- Luminancja każdej części barwnej znaku bezpieczeństwa powinna wynosić co najmniej 2 cd/m² we wszystkich kierunkach widzenia mających znaczenie dla bezpieczeństwa.
- Stosunek maksymalnego natężenia oświetlenia do minimalnego natężenia oświetlenia w strefie otwartej nie powinien być większy niż 40:1.
- Minimalna wartość wskaźnika oddawania barw Ra dla źródeł światła powinna wynosić 40.

System oświetlenia awaryjnego musi działać przy minimalnym wymaganym poziomie natężenia oświetlenia przez nie mniej niż 90 minut.

- Obliczone poziome natężenie oświetlenia jest nie mniejsze niż:
 - 0,2 lx na poziomie podłogi na drodze do wyjścia,
 - 1 lx na każdym poziomie podłogi lub stopnia.
- oświetlenie awaryjne zapewnia poziom oświetlenia nie mniejszy niż:
 - 10% wymaganego natężenia w ciągu 1 s od wyłączenia;
 - 80% wymaganego natężenia w ciągu 15 s od wyłączenia;
 - pełny poziom oświetlenia w ciągu 60 s od wyłączenia zasilania.
- Pomieszczenie straży pożarnej służy do kierowania operacjami straży pożarnej, które obejmują takie działania, jak odniesienie do planów budynków i czytanie innych informacji. Dlatego ilość oświetlenia awaryjnego w pomieszczeniu musi zostać zwiększona do 400 lx.
- Windy samochodowe muszą mieć zaprojektowany system oświetlenia awaryjnego, który powinien włączać się automatycznie w przypadku awarii normalnego zasilania oświetleniem w celu zapewnienia co najmniej 20 lx oświetlenia przez 2 godziny na przycisku inicjacji alarmu.

Kraj	1. Miejsce zastosowania
Australia	– w każdym pomieszczeniu lub przestrzeni, do których jest publiczny dostęp na każdej kondygnacji w budynku klasy 6 lub 9b, jeżeli: • powierzchnia podłogi na tej kondygnacji wynosi ponad 300 m² lub, • dowolny punkt na podłodze tej kondygnacji znajduje się w odległości większej niż 20 m od najbliższych drzwi prowadzących bezpośrednio do schodów, rampy, korytarza, drogi lub otwartej przestrzeni lub, • wyjście z tej kondygnacji pociąga za sobą pionowy wzrost w budynku o więcej niż 1,5 m lub jakiegokolwiek pionowy wzrost, jeżeli dana kondygnacja nie przepuszcza wystarczającego światła lub, • kondygnacja zapewnia ścieżkę podróży z dowolnej innej kondygnacji wymaganej przez (a), (b) lub (c), aby mieć oświetlenie awaryjne; – w budynku opieki zdrowotnej klasy 9a: • w każdym korytarzu itp., obejmującym strefę leczenia lub strefę oddziału, • w każdym pokoju o powierzchni większej niż 120 m² w obszarze opieki nad pacjentem, – w każdym budynku klasy 9c z wyłączeniem jednostek jednoosobowych, – w każdym wymaganym centrum kontroli przeciwpożarowej.

Source / Źródło: EN 1838:2013, UAE Fire and Life Safety Code of Practice, NFPA 70, NFPA, UL 924, Emergency Lighting and Power Equipment, National Construction Code 2022 – Building Code of Australia.

Based on all analysed standards, the basic requirement for emergency lighting is to ensure safe evacuation in case of hazard and primary power supply outage. Another common point is that emergency lighting should be installed in public utility buildings, which may be occupied by a large number of people, both with and without knowledge of the building topography. Such buildings include e.g. hospitals, hotels, cinemas, shopping centres, manufacture and warehouse halls, underground garages with artificial lighting only. Above all, lighting fittings for emergency lighting must be installed along emergency escape routes to clearly indicate the escape route and illuminate fire-fighting equipment locations and crucial points along the emergency escape route.

In the analysis of standards from both European countries and other parts of the world, some differences may be found. The greatest differences are related to the fail-safe working time and illumination in individual parts of facilities.

Fail-safe working time

In European countries, the minimum fail-safe working time is defined as 1 hour, however in the United Kingdom the requirement are refined to stipulate that the minimum 1-hour fail-safe working time is applicable to buildings, which may be evacuated immediately and return to the facility only occurs after the batteries are fully re-charged. For rooms, where immediate evacuation is impossible or evacuated areas are to be re-occupied before the batteries are fully re-charged, the minimum fail-safe working time is 3 hours. Different solutions were adopted in other analysed regions: In the United Arab Emirates, the minimum fail-safe working time is 3 hours regardless of the building type, in Australia and the United States it is 1.5 hours. In addition, the US standard mentions the requirement to ensure 26-hour emergency lighting in the facility supervision station room.

Na podstawie wszystkich przeanalizowanych standardów można stwierdzić, że podstawowym wymaganiem dla oświetlenia awaryjnego jest zapewnienie bezpiecznej ewakuacji w przypadku wystąpienia zagrożenia oraz zaniku zasilania podstawowego. Kolejnym punktem wspólnym jest to, że oświetlenie awaryjne powinno być montowane w budynkach użyteczności publicznej, w których może przebywać duża liczba osób zarówno znających topografię obiektu, jak i użytkowników bez takiej wiedzy. Do takich budynków możemy zaliczyć np. szpitale, hotele, kina, centra handlowe, hale produkcyjno-magazynowe, garaże podziemne oświetlone wyłącznie światłem sztucznym. Przede wszystkim należy zamontować oprawy oświetleniowe do oświetlenia awaryjnego na ich drogach ewakuacyjnych, tak aby jednoznacznie wskazywały drogę ucieczki, a także oświetlały miejsca usytuowania sprzętu przeciwpożarowego oraz newralgiczne punktu na drodze ewakuacyjnej.

Podczas analiz standardów krajów zarówno europejskich, jak i z innych części świata da się odnaleźć kilka różnic. Największe dotyczą długości czasu pracy awaryjnej oraz natężenia oświetlenia w poszczególnych częściach obiektów.

Czas pracy awaryjnej

Jeśli chodzi o kraje europejskie, minimalny czas pracy awaryjnej został określony jako 1 godzina, aczkolwiek w Wielkiej Brytanii doprecyzowano te wymagania, ustalając że minimalny – czyli godzinny czas pracy awaryjnej obowiązuje w przypadku budynków, z których ewakuacja może być przeprowadzona natychmiast oraz powrót do obiektu następuje dopiero po pełnym naładowaniu akumulatorów. Dla pomieszczeń, z których niemożliwa jest natychmiastowa ewakuacja lub ewakuowane miejsca mają zostać ponownie zajęte przed pełnym naładowaniem akumulatorów, minimalny czas pracy awaryjnej wynosi 3 godziny. Jeszcze inne rozwiązania przyjęto w pozostałych analizowanych regionach. W Zjednoczonych Emiratach Arabskich minimalny czas pracy awaryjnej to 3 godziny bez względu na typ budynku, w Australii oraz Stanach Zjednoczonych jest to 1,5 godziny. Dodatkowo standard USA mówi o konieczności zapewnienia 26-godzinnego oświetlenia awaryjnego w pomieszczeniu, w którym znajduje się stacja nadzoru obiektu.

Emergency lighting illumination

The emergency lighting illumination along the emergency escape route in European countries is defined based on EN 1838:2013, thus all requirements are consistent with Polish requirements, with minor differences, because in the Netherlands the illumination of 1 lx should be achieved within 15 seconds, not within 60 seconds like elsewhere. The United Arab Emirates standard mentions the requirement to ensure the initial illumination of 1.1 lx and average illumination of 10.8 lx, however drop to 0.65 lx is permitted at the end of the nominal fail-safe working time of 3 hours. In addition, in high risk areas, the initial average lx level must not be lower than 12 lx and the illumination value must not drop below 1.8 lx at any point at the floor level. In Australia, it is specified that it should be 0.2 lx at the floor level along the route to exit and 1 lx along fire-insulated routes and stairs and ramps. The required illumination should be achieved within 60 seconds. In addition, it was specified that the fire service room intended to command fire service operations, including the activities such as referring to building plans and reading other information, should have the emergency lighting increased to 400 lx, while car elevators must have a designed emergency lighting system that should be activated automatically upon normal lighting power failure to provide at least 20 lx lighting for 2 hours at the alarm initiation button. The United States standard specifies that emergency lighting must be installed that will be activated within maximum 10 seconds and ensure the initial illumination of not less than 10.8 lx on average and, at any point, not less than 1.1 lx measured along the exit route at the floor level. It is permitted that the lighting level drops to not less than 6.5 lx on average and, at any point, not less than 0.65 lx at the end of 1.5 hours.

Summary and conclusions

The analysis and assessment results presented in this article enabled the following conclusions:

- Based on the conducted analysis, it may be stated that in all analysed standards prioritise safe evacuation from the facility under fire and primary power supply outage hazard.
- All standards set similar requirements for the place of installation of emergency lighting systems, i.e. in public utility buildings, which may be occupied by a large number of people, both with and without knowledge of building topography. Such buildings include e.g. hospitals, hotels, cinemas, shopping centres, manufacture and warehouse halls, underground garages with artificial lighting only.
- In European standards, the design guidelines are primarily based on EN 1838:2013, including additional own requirements.
- In accordance with the United Arab Emirates standard, it is worth leaving some emergency lighting system power

Natężenia oświetlenia awaryjnego

Natężenie oświetlenia awaryjnego na drodze ewakuacyjnej w krajach europejskich ustalono na podstawie normy EN 1838:2013, w związku z czym wymagania są spójne z polskimi, z małymi różnicami, gdyż w Holandii natężenie 1 lx powinno być osiągnięte w ciągu 15 sekund, a nie jak w innych przypadkach – w ciągu 60 sekund. Standard Zjednoczonych Emiratów Arabskich mówi o konieczności zapewnienia początkowego natężenia 1,1 lx oraz średniego natężenia na poziomie 10,8 lx, aczkolwiek dopuszcza się spadek do 0,65 lx pod koniec znamionowego czasu pracy awaryjnej 3 godzin. Dodatkowo w obszarach wysokiego ryzyka początkowy średni poziom luksów nie może być mniejszy niż 12 lx, a w żadnym punkcie wartość natężenia nie może spaść poniżej 1,8 lx na poziomie podłogi. W Australii określono, że powinno to być 0,2 lx na poziomie podłogi na drodze do wyjścia oraz 1 lx na drogach izolowanych od ognia oraz schodach i rampach. Wymagane natężenie powinno być osiągnięte w ciągu 60 sekund. Dodatkowo określono, że pomieszczenie dla straży pożarnej, które służy do kierowania operacjami straży pożarnej, obejmującego takie działania, jak odniesienie do planów budynków i czytanie innych informacji, powinno posiadać oświetlenie awaryjne zwiększone do 400 lx, natomiast windy samochodowe muszą mieć zaprojektowany system oświetlenia awaryjnego, który powinien włączać się automatycznie w przypadku awarii normalnego zasilania oświetleniem w celu zapewnienia co najmniej 20 lx oświetlenia przez 2 godziny w miejscu przycisku inicjacji alarmu. Standard Stanów Zjednoczonych określa, iż należy zainstalować oświetlenie awaryjne, które załączy się maksymalnie w ciągu 10 sekund oraz zapewni początkowe oświetlenie nie mniejsze niż średnio 10,8 lx w dowolnym punkcie i nie mniej niż 1,1 lx mierzone wzdłuż ścieżki wyjścia na poziomie podłogi. Dopuszcza się, aby poziomy oświetlenia obniżyły się do nie mniej niż średnio 6,5 lx i, w dowolnym punkcie, nie mniej niż 0,65 lx pod koniec 1,5 godziny.

Podsumowanie i wnioski

Przedstawione w niniejszym artykule wyniki analiz i ocen pozwoliły na sformułowanie następujących wniosków:

- Na podstawie przeprowadzonej analizy można stwierdzić, że we wszystkich przeanalizowanych standardach na pierwszym miejscu stawiana jest bezpieczna ewakuacja z obiektu zagrożonego pożarem oraz zanikiem zasilania podstawowego.
- Wszystkie standardy stawiają podobne wymagania, jeśli chodzi o miejsce montażu systemów oświetlenia awaryjnego, tj. w budynkach użyteczności publicznej, w których może przebywać duża liczba osób zarówno znających topografię obiektu, jak i użytkowników bez takiej wiedzy. Do takich budynków możemy zaliczyć np. szpitale, hotele, kina, centra handlowe, hale produkcyjno-magazynowe, garaże podziemne oświetlone wyłącznie światłem sztucznym.
- W standardach krajów europejskich wytyczne projektowe opierają się głównie na normie europejskiej

- reserve for expansion, which is a good solution.
- United Arab Emirates standards are some of the most stringent, which results from the transfer of a large portion of requirements from the United States NFPA standards and addition of own requirements.
 - Despite the differences between standards, many similarities may be found in the approach to the emergency lighting design.
 - European standards miss the requirement defining inspection activities that should be performed at intervals (monthly test, annual test).
 - The measurement of illumination as part of the annual inspection in Poland is only part of good practice, but it has nowhere been stipulated as necessary.
 - Based on the comparison of analysed standards, the European requirements adopted in Poland are relatively stringent and clear.
 - The factor that should always be remembered in emergency lighting system design is that system ageing may have a significant impact on the visibility along the emergency escape route from the facility.
 - An European standards is yet to be issued for dynamic lighting systems – current requirements are derived from the German standard DIN VDE V 0108-200 for visual escape routing systems, probable inspiration for the future EN standard.
- EN 1838:2013, z uwzględnieniem dodatkowych własnych wymagań.
- Zgodnie ze standardem Zjednoczonych Emiratów Arabskich warto pozostawić pewien zapas mocy systemu oświetlenia awaryjnego w celu możliwej rozbudowy, co jest dobrym rozwiązaniem.
 - Standardy Zjednoczonych Emiratów Arabskich są jednymi z najbardziej restrykcyjnych, co wynika z przeniesienia dużej części wymagań ze standardów Stanów Zjednoczonych NFPA oraz dodania wymagań własnych.
 - Mimo występowania różnic w standardach można dostrzec wiele podobieństw w podejściu do projektowania oświetlenia awaryjnego.
 - W standardach europejskich brakuje wymagania określającego czynności kontrolne, które powinny być przeprowadzane interwałowo (test miesięczny, test roczny).
 - Pomiar natężenia oświetlenia podczas przeglądu rocznego w Polsce wynika jedynie z dobrej praktyki, a nie został nigdzie określony jako konieczny.
 - Porównując przeanalizowane standardy, można stwierdzić, że wymagania europejskie, przyjęte w Polsce są stosunkowo rygorystyczne i jasne.
 - Czynnikiem, o którym należy zawsze pamiętać podczas projektowania systemu oświetlenia awaryjnego jest fakt, że starzenie się systemu może mieć znaczący wpływ na jakość widoczności na drodze ewakuacyjnej z obiektu.
 - Nadal brakuje europejskiej normy dla systemów oświetlenia dynamicznego – obecne wymagania pochodzą z normy niemieckiej DIN VDE V 0108-200 dla wizualnych systemów kierowania ewakuacją, która prawdopodobnie stanie się w przyszłości inspiracją do stworzenia normy EN.

Literature / Literatura

- [1] EN 1838 Zastosowanie oświetlenia. Oświetlenie awaryjne.
- [2] EN 50172 Systemy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego.
- [3] National Construction Code 2022 – Building Code of Australia.
- [4] NFPA 101 Life Safety Code 2018.
- [5] NFPA 70- National Electrical Code 2020.
- [6] NFPA 110 Standard for Emergency and Standby Power Systems 2019.
- [7] DIN VDE V 0108-200; VDE V 0108-200:2018-12 Emergency escape lighting systems – Part 200: Electrically operated emergency way guidance systems.
- [8] PN-EN 60598-2-22 Oprawy oświetleniowe. Część 2–22: Wymagania szczegółowe. Oprawy oświetleniowe do oświetlenia awaryjnego.
- [9] PN-EN 60598-1 Oprawy oświetleniowe. Część 1: Wymagania ogólne i badania.
- [10] PN-EN 61347-2-7 Urządzenia do lamp. Część 2–7: Wymagania szczegółowe dotyczące urządzeń elektronicznych zasilanych z akumulatorów, do oświetlenia awaryjnego (z własnym zasilaniem).
- [11] PN-EN 62034 Systemy automatycznego testowania awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego zasilanego z akumulatorów.
- [12] Bouwbesluit 2012 (29.08.2011).
- [13] Regulations on technical requirements for construction works (1.07.2017).
- [14] Building Regulation 2010 – Fire safety.
- [15] BS 5266-1 Emergency lighting – Part 1: Code of practice for the emergency escape lighting of premises.
- [16] UL 924, Emergency Lighting and Power Equipment.

MARCIN OCHENKOWSKI, M.SC. ENG. – graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering of the Fire University in Warszawa. Associated with the Fire Protection Research and Development Centre for almost 5 years, as Specialist in the Fire Alarm Signalling and Fire Automation Laboratory Complex. Involved in testing lighting fittings for emergency lighting, safety signs and power supply equipment. Technical auditor responsible for assessment of facility production control and technical and organisational conditions of tested products. Due to membership in PKN technical committees – KT4 for Lighting Technology and KT243 for Graphic Symbols and Signs, involved in reviewing standards and in standardisation works for fire protection purposes.

TOMASZ POPIELARCZYK, PH.D. ENG. – a graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering of the Main School of Fire Service in Warsaw and the Faculty of Management and Command of the Academy of War Art in Warsaw. He works in the Laboratory of Fire Alarm Systems and Fire Automation Laboratory in Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowazarowej – Państwowy Instytut Badawczy (CNBOP-PIB) in Józefów. The area of research is fire safety of buildings, designing technical fire protection systems and their use during rescue operations.

MGR INŻ. MARCIN OCHENKOWSKI – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Od niemal 5 lat związany z Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowazarowej, jako Specjalista Zespołu Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej. Zajmuje się badaniami oprav oświetleniowych do oświetlenia awaryjnego, znakami bezpieczeństwa oraz urządzeniami zasilającymi. Auditor techniczny w zakresie ocen zakładowej kontroli produkcji oraz warunków techniczno-organizacyjnych badanych wyrobów. Dzięki przynależności do komitetów technicznych przy PKN – KT4 ds. Techniki Świetlnej oraz KT243 ds. Symboli i Znaków Graficznych uczestniczy w opiniowaniu standardów oraz w pracach normalizacyjnych na potrzeby ochrony przeciwpowazarowej.

DR INŻ. TOMASZ POPIELARCZYK – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz Wydziału Zarządzania i Dowodzenia Akademii Sztuki Wojennej w Warszawie. Pracuje w Zespole Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowazarowej – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie. Obszar prowadzonych badań naukowych to bezpieczeństwo pożarowe obiektów budowlanych, projektowanie technicznych systemów zabezpieczeń przeciwpowazarowych oraz ich wykorzystanie podczas działań ratowniczych.

ArkadiuszTrzos^{a*)}, Karol Łyziński^{a)}

^{a)} Jagiellonian University Medical College / Uniwersytet Jagielloński Collegium Medicum

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: arkadiusztrzos@gmail.com

The Potential of Emergency Medical Response to CBRNE Threats in the Context of Military-Civilian Cooperation

Potencjał reagowania ratownictwa medycznego na zagrożenia CBRNE w kontekście współpracy wojskowo-cywilnej

ABSTRACT

Purpose: The objective of this study is to present the contemporary response options of civilian medical rescue and healthcare systems to the effects of weapons of mass destruction weapons and civilian toxic agents with mass impact potential. The study also demonstrated the preparation and response potential of medical services with proper additional equipment, training and implementation of new systemic solutions to enable the collaboration and cooperation of military and civilian services.

Introduction: The complicated international situation and increased risk of armed conflict require increasing the preparation level and response capability of medical services to the health effects of weapons of mass destruction. One aspect of preparations is increasing the response potential of medical rescue and healthcare systems in the area of rescue and treatment of CBRNE (Chemical, Biological, Radiological, Nuclear and Explosive) incident victims.

Methodology: The authors described the gaps in medical rescue and healthcare systems and presented the options and methods to elevate the preparation and response level in the two fields of medicine.

Conclusions: Based on the results of four-year research and conceptual works completed under the project "Strengthening CBRNE Safety and Security – Coordination and Standardisation", as part of Norway Grants for 2014–2021, a new medical rescue and healthcare functioning model was developed based on the potential of the latest technical solutions, resources and security management systems. In their work, the authors focused on presenting the concepts of CBRNEd specialised teams, applying new solutions on using protective suits and respiratory protection equipment, innovative methods of decontamination of contaminated patients, options of point-of-care testing and identification of hazardous agents (POCT-CBRNE), isolation and transport of contaminated and highly infective patients and new CBRNE triage methods. In the publication, they demonstrated the compatibility of the developed solutions with the tactics, equipment and command system operating in the armed forces of NATO member states. The implementation of the developed solutions will enable effective military-civilian collaboration in the elimination of the health effects of weapons of mass destruction.

Keywords: CBRNE, triage, management, decision making

Type of article: review article

Received: 02.01.2025; Reviewed: 13.01.2025; Accepted: 13.01.2025;

Authors' ORCID IDs: A. Trzos – 0000-0002-4390-0901; K. Łyziński – 0000-0003-3292-2459;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 158–174, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.10>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem publikacji jest przedstawienie współczesnych możliwości reagowania cywilnych służb ratownictwa medycznego i systemu ochrony zdrowia na skutki użycia broni masowego rażenia i cywilnych środków toksycznych o masowym potencjale oddziaływania. W publikacji wykazano możliwości tkwiące w obszarach przygotowania i reagowania służb medycznych przy odpowiednim wyposażeniu, wyszkoleniu i wprowadzeniu nowych rozwiązań systemowych, pozwalających na współpracę i współdziałanie wojskowo-cywilne.

Wprowadzenie: Skomplikowana sytuacja międzynarodowa i wzrost zagrożenia konfliktem zbrojnym, wymaga podniesienia poziomu przygotowania i zdolności do odpowiedzi służb medycznych na skutki zdrowotne wykorzystania broni masowego rażenia. Jednym z elementów przygotowań jest wzrost potencjału reagowania systemu ratownictwa medycznego i systemu ochrony zdrowia w obszarze ratowania i leczenia ofiar zdarzenia CBRNE (tzw. czynników chemicznych, biologicznych, radiologicznych, nuklearnych i materiałów wybuchowych).

Metodologia: Autorzy opisali luki w systemie ratownictwa medycznego i systemie ochrony zdrowia oraz przedstawili możliwości i sposoby podniesienia poziomu przygotowania i reagowania obu obszarów medycyny.

Wnioski: Na podstawie wyników czteroletnich badań i prac koncepcyjnych, realizowanych w zakresie zadań projektu pn. „Wzmocnienie bezpieczeństwa w zakresie CBRNE – koordynacja i standaryzacja”, w ramach Funduszy Norweskich na lata 2014–2021, wypracowano nowy model funkcjonowania ratownictwa medycznego i ochrony zdrowia w oparciu o możliwości wykorzystania najnowszych rozwiązań technicznych, systemów zarządzania zasobami i bezpieczeństwem. W swojej pracy autorzy skupili się na przedstawieniu koncepcji specjalistycznych zespołów CBRNEmed, wykorzystania nowych rozwiązań w zakresie stosowania kombinezonów ochronnych i środków ochrony dróg oddechowych, nowatorskich technik dekontaminacji skażonych pacjentów, możliwościach przyłóżkowej detekcji i identyfikacji czynników niebezpiecznych (POCT-CBRNE), izolacji i transportu skażonych i wysoce zakaźnych pacjentów, oraz nowych metodach triage'u CBRNE. W publikacji wykazali kompatybilność wypracowanych rozwiązań z taktyką, wyposażeniem i systemem dowodzenia funkcjonującym w siłach zbrojnych krajów członkowskich NATO. Wdrożenie wypracowanych rozwiązań pozwoli na podjęcie efektywnej wojskowo-cywilnej współpracy przy likwidacji skutków zdrowotnych użycia broni masowego rażenia.

Słowa kluczowe: CBRNE, triage, zarządzanie, podejmowanie decyzji

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 02.01.2025; **Zrecenzowany:** 13.01.202; **Zaakceptowany:** 13.01.2025;

Identyfikatory ORCID autorów: A. Trzos – 0000-0002-4390-0901; K. Łyżwiński – 0000-0003-3292-2459;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 64 Issue 2, 2024, pp. 158–174, <https://doi.org/10.12845/sft.64.2.2024.10>;

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

Introduction

Poland, given the current complicated international situation, became a front-adjacent country, by which it is exposed to the effects of the use of weapons of mass destruction by the sides of the armed conflict beyond its eastern border. This exceptional situation requires increasing the readiness of medical rescue services to the level enabling effective response to the effects of the use of weapons of mass destruction against the soldiers and civilians of both sides of the conflict. The probability of the use of CBRNE (C – chemical, B – biological, R – radiological, N – nuclear, E – explosive) weapons of mass destruction by both sides of the conflict, in the opinion of the authors, is very high at present. The health effects of its use are difficult to predict, like the engagement of medical rescue and healthcare systems in Poland and elsewhere in Europe.

The research on the medical rescue system and competences of medical personnel conducted by the authors over the recent years revealed disturbing gaps in the medical rescue and healthcare systems in the fields of planning, preparation and response to CBRNE hazards at pre-hospital and hospital stages.

In response to the expectations and needs of the medical rescue system related to the increased level of the CBRNE hazard response readiness, the Department of Disaster and Emergency Medicine in the Jagiellonian University Medical College model solutions were developed, including the concept of medical rescue teams designed to operate in case of CBRNE incidents (CBRNEmed). It assumed new medical tactics, organisation of medical operations in cooperation with different entities and services, resource management system (human, equipment, IT), point-of-care testing and identification of hazardous agents, methods of medical decontamination and use of personal protection equipment (PPE). Those solutions were tested during the 20th CBRNEmed workshops organised jointly with Polish Armed Forces and civilian rescue systems: the national rescue and fire-fighting system (KSRG) and the national medical rescue

Wstęp

Polska, w obecnej skomplikowanej sytuacji międzynarodowej, stała się krajem przyfrontowym, przez co narażona jest na skutki wykorzystania broni masowego rażenia (BMR) przez strony toczącego się za wschodnią granicą konfliktu zbrojnego. Ta wyjątkowa sytuacja wymaga podniesienia gotowości służb ratownictwa medycznego do poziomu pozwalającego na skuteczne reagowanie na konsekwencje użycia BMR przeciwko żołnierzom obu stron konfliktu i ludności cywilnej. Prawdopodobieństwo wykorzystania broni masowego rażenia CBRNE (zagrożenia: C – chemiczne, B – biologiczne, R – radiacyjne, N – nuklearne, E – wybuchowe) przez obie strony konfliktu, w ocenie autorów, jest obecnie wysoce prawdopodobne. Skutki zdrowotne jej wykorzystania są trudne do przewidzenia, podobnie jak zaangażowanie systemów ratownictwa medycznego i ochrony zdrowia w Polsce i pozostałej części Europy.

Prowadzone przez autorów na przestrzeni ostatnich lat badania systemu ratownictwa medycznego i kompetencji personelu medycznego wykazały niepokojące braki ochrony zdrowia w obszarach planowania, przygotowania i reagowania na zagrożenia CBRNE w tym systemie, jak i w systemie na etapach przedszpitalnym i szpitalnym.

W odpowiedzi na oczekiwania i potrzeby systemu ratownictwa medycznego w zakresie podniesienia poziomu gotowości do reagowania na zagrożenia CBRNE w Zakładzie Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum opracowano modelowe rozwiązania, w tym koncepcję zespołów ratownictwa medycznego przeznaczonych do działania w zdarzeniach CBRNE (CBRNEmed). Zakłada ona nową taktykę medyczną, sposób organizacji działań medycznych w ramach współdziałania z innymi podmiotami i służbami, system zarządzania zasobami (ludzkimi, sprzętowymi, informacyjnymi), system przyłóżkowej detekcji i identyfikacji czynników niebezpiecznych, techniki dekontaminacji medycznej i użytkowania środków ochrony indywidualnej (ŚOI). Rozwiązania te przetestowano

system (PRM). The experience from these meetings were collected in the form of procedures designed for medical rescue and emergency medicine.

podczas 20 warsztatów CBRNEmed, organizowanych wspólnie z Siłami Zbrojnymi RP i cywilnymi systemami ratowniczymi: krajowym systemem ratowniczo-gaśniczym (KSRG) i systemem państwowe ratownictwo medyczne (PRM). Doświadczenia z tych spotkań zebrano w formie procedur przeznaczonych dla ratownictwa medycznego i medycyny ratunkowej.

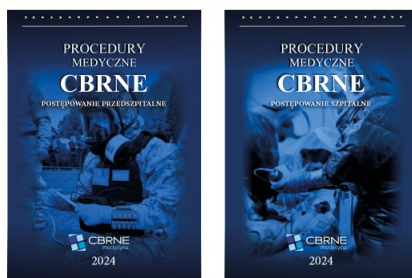


Figure 1. Pre-hospital and hospital medical procedures

Rycina 1. Procedury medyczne przedszpitalne i procedury medyczne szpitalne

Source: Own archives.

Źródło: Archiwum własne.

Objective of the article

The objective of this article is to present the contemporary response options of civilian medical rescue and healthcare systems to the effects of weapons of mass destruction weapons and civilian toxic agents with mass impact potential. The study also demonstrated the preparation and response potential of medical services with proper additional equipment, training and implementation of new systemic solutions to enable the collaboration and cooperation of military and civilian services.

Cel artykułu

Celem artykułu jest przedstawienie współczesnych możliwości reagowania cywilnych służb ratownictwa medycznego i systemu ochrony zdrowia na skutki użycia broni masowego rażenia i cywilnych środków toksycznych o masowym potencjale oddziaływania. W publikacji wykazano możliwości istniejące w obszarach przygotowania i reagowania służb medycznych przy odpowiednim wyposażeniu, wyszkoleniu i wprowadzeniu nowych rozwiązań systemowych, pozwalających na współpracę i współdziałanie wojskowo-cywilne.

CBRNE hazards preparation level of the medical rescue system in Poland

Preparation and completion of the survey among the PRM system units was a task to perform under the project “Strengthening CBRNE Safety and Security – Coordination and Standardisation”, funded from the “Internal Affairs” Programme as part of Norway Grants for 2014-2021. The objective of the survey was identification of existing gaps and needs in healthcare and medical rescue systems related to CBRNE hazards.

For these purpose, four questionnaires (surveys) were created:

- questionnaire for hospital emergency departments, trauma centres and admission rooms in the PRM system (consisting of 60 questions),
- questionnaire for PRM medical rescue team administrators (consisting of 60 questions),
- questionnaire for PRM medical dispatch centres (consisting of 60 questions),
- questionnaire for PRM system personnel and cooperative unit personnel (consisting of 51 questions).

Poziom przygotowania systemu ratownictwa medycznego w Polsce na zagrożenia CBRNE

Przygotowanie i przeprowadzenie badania ankietowego wśród jednostek systemu PRM było jednym z zadań w ramach realizacji projektu pt. „Wzmocnienie bezpieczeństwa w zakresie CBRNE – koordynacja i standaryzacja”, finansowanego z Programu „Sprawy wewnętrzne”, realizowanego w ramach Funduszy Norweskich na lata 2014–2021. Celem ankiety była identyfikacja istniejących luk i potrzeb w systemie ochrony zdrowia i ratownictwa medycznego, dotyczących zagrożeń CBRNE.

Stworzono cztery kwestionariusze (ankiety):

- kwestionariusz dla szpitalnych oddziałów ratunkowych, centrów urazowych oraz izb przyjęć w systemie PRM (zawierający 60 pytań),
- kwestionariusz dla dysponentów zespołów ratownictwa medycznego PRM (zawierający 60 pytań),
- kwestionariusz dla dyspozytorni medycznych PRM (zawierający 60 pytań),
- kwestionariusz dla pracowników systemu PRM oraz

The survey was conducted using the electronic response questionnaire. In cooperation with the Ministry of Health, the information on the survey was delivered to all above-listed units of the PRM system. At the same time, an intensive informational campaign was conducted to maximise the number of fully completed surveys. In cooperation with the Ministry of Health, through voivodeship offices and the national consultant in rescue medicine, heads of PRM unit entities were asked for active participation in the survey.

The survey questionnaire consisted of questions related to the current readiness of the national medical rescue to CBRNE hazards in the fields of preparation, hazard monitoring, training, response, logistics and transport. The surveys for all entities checked the above-listed areas. The question structure was mixed: multiple choice (with the "Other" field for optional comment), questions with scale for own evaluation, closed-ended. The survey was anonymous for the respondents.

The survey obtained:

- a) 199 questionnaires from hospital emergency departments, trauma centres and admission rooms in the PRM system,
- b) 122 questionnaires from PRM medical rescue team administrators,
- c) 26 questionnaires from PRM medical dispatch centres,
- d) 665 questionnaires from PRM employees and cooperative unit employees, including 60 physicians, 145 nurses, 413 paramedics and 47 other people connected with the PRM system.

As part of the conducted analysis of system gaps, survey results were analysed in detail based on the prepared Excel spreadsheet (quantitative assessment). Also, statistic analysis was conducted to determine the preparation level and quantify the gaps in particular research areas (qualitative assessment).

Project results were made available to the lead beneficiary of the project and covered with confidentiality clause. For that reason, detailed analysis cannot be presented. However, general conclusions were collected below:

1. In case of CBRNE incidents, PRM units assess that they are prepared the best for multiple and mass incidents (without CBRNE agent) and worst for radiological and nuclear incidents.
2. PRM units do not have a unified system for information exchange on safe and effective response options of emergency response teams/hospital emergency departments/trauma centres/dispatch centres to CBRNE hazards.
3. PRM units do not have a unified system for CBRNE hazard detection and monitoring and relevant information exchange.
4. PRM units do not have a segregation procedure for biological, chemical, radiological, nuclear and tactical hazards. If in place for selected hazards, they are not unified for the entire system.
5. PRM units do not have quick access to personal protection equipment for chemical and radiological hazards. They have quick access to personal protection equipment for biological hazards (level C – biological).

pracowników jednostek współpracujących z tym systemem (zawierający 51 pytań).

Badanie ankietowe zostało przeprowadzone za pośrednictwem elektronicznego kwestionariusza odpowiedzi. Przy współpracy z Ministerstwem Zdrowia (MZ) informacja o ankiecie została dostarczona do wszystkich wymienionych powyżej jednostek wchodzących w skład systemu PRM. Jednocześnie była prowadzona intensywna kampania informacyjna mająca na celu zebranie jak największej liczby w pełni wypełnionych ankiet. Przy współpracy z MZ, poprzez urzędy wojewódzkie oraz konsultanta krajowego w dziedzinie medycyny ratunkowej, zwrócono się do kierowników podmiotów jednostek PRM z zaleceniem aktywnego uczestnictwa w badaniu.

Kwestionariusz badania ankietowego zawierał pytania dotyczące aktualnej gotowości państwowego ratownictwa medycznego na zagrożenia CBRNE w obszarach przygotowania, monitorowania zagrożeń, szkolenia, reagowania oraz logistyki i transportu. Ankiety dla wszystkich podmiotów sprawdzały wyżej wymienione obszary. Konstrukcja pytań miała charakter mieszany: wielokrotnego wyboru (z możliwością wypowiedzenia się w polu „Inne”), pytania ze skalą według własnej opinii, zamknięte. Ankieta była anonimowa dla osób wypełniających.

W ramach badania uzyskano:

- a) 199 kwestionariuszy od szpitalnych oddziałów ratunkowych, centrów urazowych oraz izb przyjęć w systemie PRM,
- b) 122 kwestionariusze od dysponentów zespołów ratownictwa medycznego PRM,
- c) 26 kwestionariuszy od dyspozytorni medycznych PRM,
- d) 665 kwestionariuszy od pracowników PRM oraz jednostek współpracujących, w tym od 60 lekarzy, 145 pielęgniarek/pielęgniarzy, 413 ratowników medycznych oraz 47 innych osób związanych z systemem PRM.

W ramach przeprowadzonej analizy luk systemowych dokonano szczegółowej analizy wyników badań ankietowych podstawie opracowanego arkusza kalkulacyjnego Excel (ocena ilościowa). Przeprowadzono także analizę statystyczną pozwalającą na określenie stopnia przygotowania i wielkości luk w poszczególnych obszarach badawczych (ocena jakościowa).

Wyniki projektu zostały przekazane do dyspozycji głównego beneficjenta projektu i są objęte klauzulą poufności. Z tego powodu szczegółowa analiza nie może być przedstawiona. Jednak ogólne wnioski zebrano poniżej:

1. Jednostki PRM w zdarzeniach CBRNE oceniają, że są przygotowane najlepiej na zdarzenia mnogie i masowe (bez czynnika CBRNE), a najgorzej na zdarzenia radiacyjne i nuklearne.
2. Jednostki PRM nie posiadają jednolitego systemu wymiany informacji pomiędzy sobą na temat możliwości bezpiecznego i efektywnego reagowania ZRM/SOR/CU/dyspozytorni na zagrożenia CBRNE.
3. Jednostki PRM nie posiadają jednolitego systemu zakresu wykrywania i monitorowania zagrożeń CBRNE oraz wymiany tych informacji.
4. Jednostki PRM nie posiadają procedury segregacyjnej na wypadek zagrożeń biologicznych, chemicznych, radiacyjnych, nuklearnych, taktycznych. Te istniejące na wybrane zagrożenia nie są jednolite dla całego systemu.

6. PRM units do not have respiratory protection equipment in the form of respiratory tract isolation (level A and B).
7. PRM units do not have ballistic protection equipment.
8. The PRM command support system should be capable of detecting the effects of hazardous agents based on the clinical data of patients input to the system.
9. There is no consistent system of information on the feasibility of advanced medical rescue operations by medical rescue teams and medical teams in hospital emergency departments/trauma centres/admission rooms with personal protection equipment for CBRNE incidents.
10. There are no adequate post-CBRNE incident logistics and transport capabilities in the PRM system.
11. Logistics capabilities for (medical) decontamination are limited; there are no unified decontamination procedures for a single patient in imminent danger to life.
12. There is a need to conduct simulations and exercises using personal protection equipment, involving other services, at least once a year.
13. There is a need to teach the subject of disaster medicine in a broader range during the studies to increase the operation effectiveness and security of the pre-hospital PRM system.
14. The respondents agree with the idea to form special trained and equipped medical rescue teams, prepared to operate in case of CBRNE incidents, as part of the medical rescue teams of the PRM system (pre-hospital).

The research conducted by the authors revealed disturbing gaps in the medical rescue and healthcare systems in the fields of planning, preparation and response to CBRNE hazards in pre-hospital and hospital areas. At present, the CBRNE hazards preparation level of the medical rescue system is inadequate.

The remainder of the publication will explain the primary assumptions of the project to strengthen the readiness of the medical rescue and healthcare systems to respond to CBRNE hazards, which are reflected in the medical procedures presented above.

5. Jednostki PRM nie posiadają szybkiego dostępu do środków ochrony indywidualnej przeznaczonych dla zagrożeń chemicznych i radiacyjnych. Posiadają go do środków ochrony indywidualnej dla zagrożeń biologicznych (poziom C – biologiczny).
6. Jednostki PRM nie posiadają sprzętu ochrony dróg oddechowych w formie izolacji dróg oddechowych (poziom A i B).
7. Jednostki PRM nie posiadają środków ochrony balistycznej.
8. System SWD PRM powinien mieć możliwość wykrywania skutków działania materiałów niebezpiecznych na podstawie wprowadzonych do systemu danych klinicznych pacjentów.
9. Brakuje spójnego systemu informacji na temat możliwości prowadzenia zaawansowanych medycznych czynności ratunkowych przez zespoły ratownictwa medycznego i zespoły medyczne w SOR/CU/IP w środkach ochrony indywidualnej w zdarzeniach CBRNE.
10. Brakuje wystarczających możliwości logistycznych oraz transportowych dla pacjentów po zdarzeniu CBRNE w systemie PRM.
11. Możliwości logistyczne pod względem dekontaminacji (medycznej) są ograniczone; brakuje jednolitych procedur dekontaminacyjnych dla pojedynczego pacjenta w stanie bezpośredniego zagrożenia życia.
12. Istnieje potrzeba przeprowadzania symulacji oraz ćwiczenia z użyciem środków ochrony indywidualnej oraz udziałem innych służb minimum 1 raz w roku.
13. Istnieje potrzeba realizacji przedmiotu medycyna katastrof w szerszym zakresie podczas studiów, w celu podniesienia efektywności i bezpieczeństwa funkcjonowania systemu przedszpitalnego PRM.
14. Respondenci zgadzają się z pomysłem utworzenia w ramach zespołów ratownictwa medycznego systemu PRM (systemu przedszpitalnego) specjalnie wyszkolonych i wyposażonych zespołów ratownictwa medycznego, przygotowanych do działania w zdarzeniach CBRNE.

Prowadzone przez autorów badania wykazały niepokojące braki systemu ratownictwa medycznego i systemu ochrony zdrowia w obszarach planowania, przygotowania i reagowania na zagrożenia CBRNE w obszarach przedszpitalnym i szpitalnym. Poziom przygotowania systemu ratownictwa medycznego w Polsce na zagrożenia CBRNE jest obecnie niewystarczający.

W dalszej części publikacji omówione zostaną główne założenia projektu wzmocnienia gotowości ratownictwa medycznego i systemu ochrony zdrowia do reagowania na zagrożenia CBRNE, które znalazły swoje odzwierciedlenie w przedstawionych wcześniej procedurach medycznych.

Concept of CBRNEmed teams

A part of effective response of the national security system to CBRNE hazards is proper operation of the rescue and healthcare system. Based on the CBRNE hazard response gaps in the PRM system and healthcare system demonstrated by the survey, a concept of CBRNEmed specialised medical teams, designed

Koncepcja zespołów CBRNEmed

Jednym z elementów efektywnego reagowania systemu ochrony państwa na zagrożenia CBRNE jest właściwe działanie systemu ratowniczo-medycznego. Wykazane w badaniu luki w systemie PRM i systemie ochrony zdrowia dotyczące możliwości odpowiedzi na zagrożenia CBRNE, skutkowały wypracowaniem

to bridge the mentioned gaps in the CBRNE incident victim care process [1–3]. The scope of operation of CBRNEMed teams is broad and includes pre-hospital and hospital operations. The task of the teams is the independent solving of medical problems or supporting the sub-units of medical armed forces and the KSRG system during rescue and evacuation, transport and treatment operations in the field of CBRNE hazards. The organisational structure and proper assembly of the logistics resources of the teams enable the achievement of operational independence for autonomous operation for the period of at least 72 hours. The task extent includes all steps necessary for proper performance of the rescue and treatment process [4] (see Figure 2).

koncepcji specjalistycznych zespołów medycznych CBRNEMed., których zadaniem jest wypełnienie wspomnianych luk w procesie udzielania pomocy ofiarom zdarzenia CBRNE [1–3]. Obszar działania zespołów CBRNEMed jest szeroki i obejmuje działania przedszpitalne i szpitalne. Zadaniem zespołów jest samodzielne rozwiązywanie problemów medycznych lub wsparcie pododdziałów medycznych sił zbrojnych i systemu KSRG podczas działań ratowniczo-ewakuacyjnych, transportowych i leczniczych w obszarze zagrożeń CBRNE. Struktura organizacyjna oraz odpowiednio skompletowane zasoby logistyczne zespołów pozwalają osiągnąć samodzielność operacyjną, umożliwiającą działanie autonomiczne przez okres przynajmniej 72 godzin. Zakres zadań obejmuje wszystkie kroki niezbędne do poprawnego przeprowadzenia procesu ratowniczo-leczniczego [4] (zob. ryc. 2).

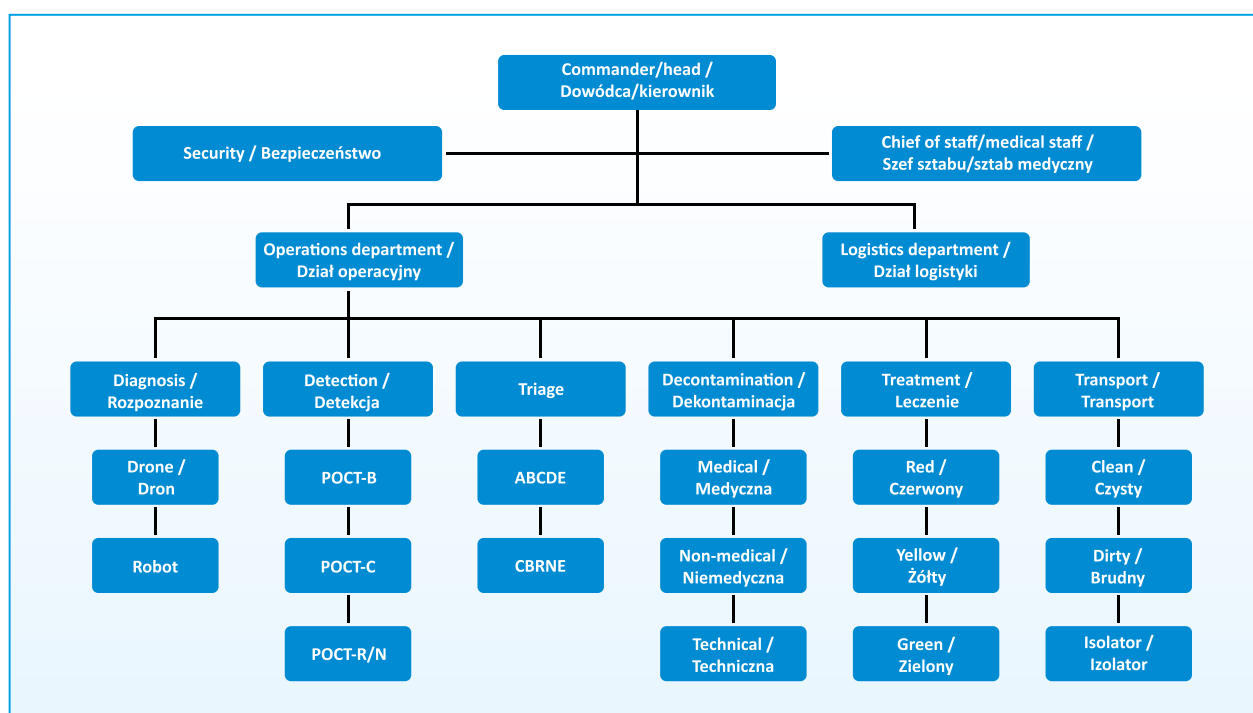


Figure 2. Organisational structure of CBRNEMed teams
Rycina 2. Struktura organizacyjna zespołów CBRNEMed

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The intended characteristic feature of CBRNEMed teams is the capability of direct operation in “hot zone” and “warm zone”, that is in areas previously unavailable for traditionally equipped and trained medical rescue teams of the PRM system and medical personnel of hospitals, responsible for the admission of and provision for the potential CBRNE incident victims. The modular organisational structure and flexible management structure, the container logistics (equipment) resource storage system enables the activation and involvement of only the assets required by the given CBRNE incident type. The authors of the concept assume that the CBRNEMed teams will be formed based on academic centres, selected entities of the PRM system, specialised chemical and environmental rescue units and the medical rescue

Cechą charakterystyczną zespołów CBRNEMed ma być możliwość bezpośredniego działania w strefie gorącej i w strefie ciepłej, a więc w obszarach dotychczas niedostępnych dla tradycyjnie wyposażonych i przeszkolonych zespołów ratownictwa medycznego systemu PRM i personelu medycznego szpitali, odpowiedzialnych za przyjęcie i zaopatrzenie potencjalnych ofiar zdarzenia CBRNE. Modułowa struktura organizacyjna oraz elastyczna struktura zarządzania, kontenerowy system przechowywania zasobów logistycznych (sprzętowych) pozwalają na aktywację i włączenie do działań ratowniczo-medycznych tylko tych elementów, które są niezbędne w danym typie zdarzenia CBRNE. Autorzy koncepcji przewidują, że zespoły CBRNEMed utworzone zostaną na bazie ośrodków akademickich, wybranych podmiotów

sub-units of armed forces responsible for CBRNE security. The educational programme developed in the Department of Disaster and Emergency Medicine in the Jagiellonian University Medical College (using new medical simulation methods) enables proper preparation of medics intended to work in CBRNEd teams in providing medical assistance in the areas of danger from hazardous agents of military and civilian origin.

According to the developed concept, the component supporting CBRNEd team operations are the medical support teams organised based on medical teams operating in the PRM system. The task of support teams is to assist professional teams in areas that do not require specialised equipment and advanced rescue skills. The CBRNEd team operation concept also includes the locations of teams, resulting from existing and potential hazards in future. The team stationing map corresponds to the location of KSRG specialised units and weapons of mass destruction defence sub-units of armed forces.

Detailed information on the organisation, management systems and operating principles of CBRNEd teams are included the specialised study (report) prepared under the CBRNE Project, submitted to the lead beneficiary of the CBRNE Project, the Internal Security Agency.

Tactics of CBRNEd teams and medical support teams

In case of a CBRNE incident, hazardous agents are used intentionally. The human factor influencing the course of a CBRNE incident obstructs effective security control and prediction of the development of medical situation. This requires a flexible response to changing hazards [5–7]. Thus, medical operations in case of a CBRNE incident require medical personnel to have specialised knowledge and skills to handle dynamically changing situations, as well as proper equipment, and use of innovative and flexible tactics enabling safe operation under the pressure of dynamically changing hazards. CBRNE incidents may occur suddenly and unexpectedly, in any place and at any time [8]. They may be signalled (overt attack) or identified accidentally (covert attack) at the hospital emergency department, trauma centre or hospital department (clinical toxicology department, communicable diseases department).

In addition, the use of explosive agents, as spatial carrier of hazardous agents, extends the CBRNE incident to trauma issues. This situation complicates rescue and medical operations at further stages, which requires an interdisciplinary approach to the rescue process. In rescue and medical operations, it is necessary to run two process lines, the traditional traumatology line and the CBRNE line. The rescue and medical tactics developed for CBRNEd teams considers the need for parallel operation on both medical rescue process lines. Specialised medical rescue

systemu PRM, specjalistycznych jednostek ratownictwa chemiczno-ekologicznego oraz pododdziałów medycznych jednostek sił zbrojnych odpowiedzialnych za bezpieczeństwo CBRNE. Opracowany w Zakładzie Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej UJCM program edukacyjny (wykorzystujący nowoczesne metody symulacji medycznej) pozwala na właściwe przygotowanie medyków przewidzianych do pracy w zespołach CBRNEd pod kątem udzielania pomocy medycznej w obszarze zagrożenia ze strony materiałów niebezpiecznych pochodzenia militarnego i cywilnego.

Według opracowanej koncepcji elementem wspierającym działania zespołów CBRNEd są zespoły wsparcia medycznego organizowane na bazie zespołów medycznych funkcjonujących w systemie PRM. Zadaniem zespołów wsparcia jest pomoc profesjonalnym zespołom w obszarach niewymagających specjalistycznego wyposażenia i zaawansowanych umiejętności ratowniczych. Koncepcja funkcjonowania zespołów CBRNEd uwzględnia również ich rozmieszczenie na terenie kraju, wynikające z istniejących i potencjalnych zagrożeń w przyszłości. Mapa stacjonowania zespołów odpowiada rozmieszczeniu jednostek specjalistycznych KSRG i pododdziałów obrony przed bronią masowego rażenia sił zbrojnych.

Szczegółowe informacje o organizacji, systemach zarządzania i zasadach funkcjonowania zespołów CBRNEd znajdują się w specjalistycznym opracowaniu (raporcie) przygotowanym w ramach Projektu CBRNE, przekazanego jego głównemu beneficjentowi – Agencji Bezpieczeństwa Wewnętrznego.

Taktyka zespołów CBRNEd i zespołów wsparcia medycznego

W zdarzeniu CBRNE materiały niebezpieczne wykorzystywane są w sposób intencjonalny. Czynniki ludzkie wpływające na przebieg zdarzenia CBRNE utrudniają skuteczną kontrolę bezpieczeństwa i przewidywania rozwoju sytuacji medycznej oraz sprawia, że konieczne staje się elastyczne reagowanie na zmieniające się zagrożenia [5–7]. Dlatego działania medyczne w zdarzeniu CBRNE wymagają od personelu medycznego specjalistycznej wiedzy i umiejętności radzenia sobie w dynamicznie zmieniającej się sytuacji, a także odpowiedniego wyposażenia, stosowania nowatorskiej i elastycznej taktyki, pozwalającej na bezpieczne działanie pod presją dynamicznie zmieniających się zagrożeń. Zdarzenia CBRNE mogą wystąpić nagle i niespodziewanie, w dowolnym miejscu i czasie [8]. Mogą być sygnalizowane (atak jawny) lub mogą zostać rozpoznane przypadkowo (atak skryty), w szpitalnym oddziale ratunkowym (SOR), centrum urazowym (CU), czy oddziale szpitalnym (oddziale toksykologii klinicznej, oddziale chorób zakaźnych).

Dodatkowo użycie materiałów wybuchowych, jako nośnika materiałów niebezpiecznych w przestrzeni, poszerza zdarzenia CBRNE o problematykę urazową. Sytuacja ta komplikuje działania ratunkowo-medyczne na kolejnych etapach udzielania pomocy, powodując konieczność interdyscyplinarnego podejścia do postępowania ratowniczego. W działaniach ratowniczo-medycznych niezbędne jest prowadzenie dwóch linii postępowania – klasycznej

services will receive new tasks and new competencies, which may be described as:

- remote and direct identification of hazards (drones, robots),
- initial detection and identification of a CBRNE hazard at the patient,
- evacuation from the hot zone with CBRNE protection of victims,
- CBRNE triage, critical interventions, administration of antidotes and medicines,
- preparation for medical, non-medical and technical decontamination,
- initial decontamination of victims, with ongoing patient supervision and its efficiency control with capability of critical interventions (e.g.: mechanical ventilation, pneumothorax decompression, bleeding protection, fluid therapy etc.),
- patient protection in the medical point as per the A(T)LS standard and preparation for short- and long-term transport,
- undertaking and operation of “dirty transport” and transport in CBRNE isolator,
- operation of further diagnostics and treatment process in hospital conditions (in mobile or stationary CBRNE isolator),
- operation of the CBRNE agent detection and identification process at every stage of pre-hospital and hospital operation.

The multitude of potential CBRNE incident scenarios led the authors to attempt to create a universal medical tactics model, enabling flexible adjustment to specific incident. A traditional classification of hazard zones, considering the extent change dynamics, into:

- hot zone,
- warm zone,
- cold zone.

The division of the place of incident into zones facilitates risk management, which results in proper organisation of medical operation, medical personnel management and use of logistics resources, including personal protection equipment.

The medical rescue tactics was tested during exercises and simulations with medical sub-units of Polish Armed Forces in 2021–2024. Organisation of the place of event, in which the new tactics is implemented, is illustrated in Figure 3.

urazowej (traumatologia) i linii CBRNE. Wypracowana dla zespołów CBRNEMed taktyka ratowniczo-medyczna uwzględnia konieczność równoległego działania na obu liniach postępowania ratowniczo-medycznego. Specjalistyczne ratownictwo medyczne otrzyma nowe zadania, a jednocześnie nowe kompetencje, które można określić jako:

- zdalne i bezpośrednie rozpoznanie zagrożeń (drony, roboty),
- wstępną detekcję i identyfikację zagrożenia CBRNE przy pacjencie,
- ewakuację w zabezpieczeniu przeciw CBRNE poszkodowanych ze strefy gorącej,
- triage CBRNE, wykonanie interwencji krytycznych, stosowanie antidotów i leków,
- przygotowanie do dekontaminacji medycznej, niemedycznej i technicznej,
- wykonanie wstępnej dekontaminacji ofiar, wraz z nadzorem nad pacjentem w jej trakcie i kontrolą skuteczności jej wykonania wraz z zapewnieniem możliwości wykonania interwencji krytycznych (np.: prowadzenie wentylacji zastępczej, odbarczenie odmy, zabezpieczenie krwawień, stosowanie płynoterapii itp.),
- zabezpieczenie pacjentów w punkcie medycznym w standardzie A(T)LS i przygotowanie do transportu krótko i długoterminowego,
- podjęcie i prowadzenie „brudnego transportu” i transportu w izolatorze CBRNE,
- prowadzenie dalszego procesu diagnostyczno-leczniczego w warunkach szpitalnych (w izolatorze mobilnym lub stacjonarnym CBRNE),
- prowadzenie procesu detekcji i identyfikacji czynników CBRNE na każdym etapie postępowanie przedszpitalnego i szpitalnego.

Mnogość możliwych scenariuszy incydentów CBRNE skłoniła autorów do próby stworzenia uniwersalnego modelu taktyki medycznej, pozwalającej na jej elastyczne dostosowanie do konkretnego zdarzenia. Przyjęto klasyczny podział stref zagrożenia, z uwzględnieniem dynamiki zmiany ich zasięgu, na:

- strefę gorącą (ang. *hot zone*),
- strefę ciepłą (ang. *warm zone*),
- strefę zimną (ang. *cold zone*).

Podzielenie miejsca zdarzenia na strefy ułatwia zarządzanie ryzykiem, w konsekwencji odpowiednie: organizację działań medycznych, zarządzanie personelem medycznym i wykorzystanie zasobów logistycznych, w tym środków ochrony indywidualnej.

Taktyka ratowniczo-medyczna została przetestowana podczas licznych ćwiczeń i symulacji realizowanych z pododdziałami medycznymi sił zbrojnych RP w latach 2021–2024. Organizacja miejsca zdarzenia, w której wdrażana jest nowa taktyka, została zilustrowana na rycinie 3.

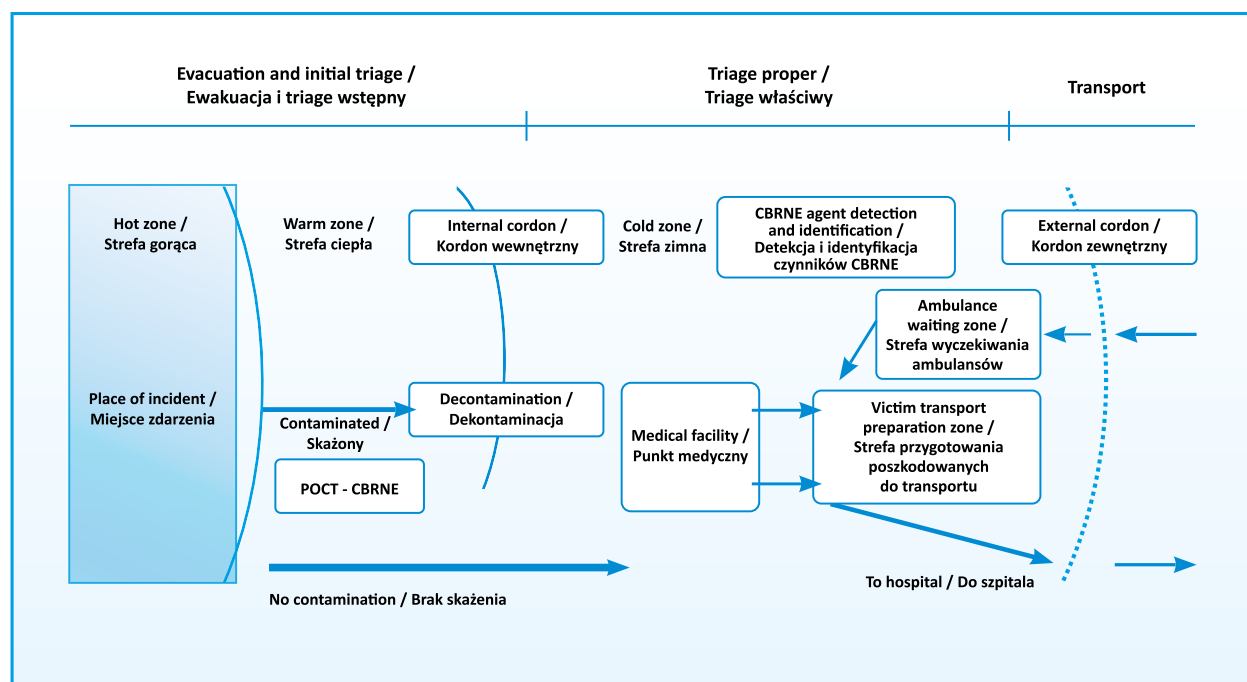


Figure 3. Organisation of rescue and medical operations at the place of CBRNE incident
Rycina 3. Organizacja działań ratowniczo-medycznych na miejscu zdarzenia CBRNE

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The diagram includes new components of the organisational structure of the evacuation and treatment line, which enables complete fulfilment of the new tactics independently or in cooperation with KSRG system units or medical sub-units of armed forces.

During the simulation of CBRNE incidents of different characteristics, dynamics and magnitude, the medical operation tactics was tested at the place of incident (hot zone), during the evacuation and decontamination (medical, non-medical, technical – warm zone), during patient stabilisation at the medical facility and during transport to hospital (cold zone). The new tactics includes the necessity of instrument-based identification of hazards, environmental monitoring, detection and identification of hazardous agents for the purposes of medical personnel and victim protection, ABCDE and CBRNE triage and initial treatment (symptomatic and targeted). The above-illustrated tactics draws from military medicine experiences and strategies of medical care under fire, tactical field care, tactical evacuation and forward surgical teams. Flexible medical tactics and operational organisation enable changing the shape and extent of individual hazard zones and adjustment to their changing tactical (use of firearms, explosives) and medical situation.

Na schemacie uwzględniono nowe elementy w strukturze organizacyjnej ciągu ewakuacyjno-leczniczego, umożliwiające kompletną realizację nowej taktyki samodzielnie lub we współdziałaniu z jednostkami systemu KSRG lub pododdziałami medycznymi sił zbrojnych.

Podczas symulacji zdarzeń CBRNE o różnym charakterze, dynamice i wielkości przetestowano taktykę postępowania medycznego na miejscu zdarzenia (strefa gorąca), podczas ewakuacji i dekontaminacji (medycznej, niemedycznej, technicznej – strefa ciepła), podczas stabilizacji pacjentów w punkcie medycznym i podczas transportu do szpitala (strefa zimna). Nowa taktyka uwzględnia potrzebę wykonania przyrządowego rozpoznania zagrożeń, monitorowania środowiska, detekcji i identyfikacji czynników niebezpiecznych na potrzeby ochrony personelu medycznego i ofiar, kontroli efektywności dekontaminacji ofiar i personelu medycznego, triage'u ABCDE i CBRNE oraz wstępnego leczenia (objawowego i celowanego). Zobrazowana powyżej taktyka czerpie z doświadczeń medycyny wojskowej oraz strategii udzielania pomocy medycznej „pod ostrzałem” (ang. *care under fire*), taktyczno-polowej opieki nad poszkodowanym (ang. *tactical field care*), taktycznej ewakuacji (ang. *tactical evacuation*), wysuniętych zespołów chirurgicznych (ang. *forward surgical team*). Elastyczna taktyka medyczna i organizacja działań pozwalają na zmianę kształtu i zasięgu poszczególnych stref zagrożenia i dostosowania ich do zmiennej sytuacji taktycznej (użycia broni palnej, materiałów wybuchowych) i medycznej.

Personal protection equipment for medical personnel

The medical personnel of CBRNEd teams providing care to CBRNE incident victims use personal protection equipment (PPE) to protect from contamination. PPE is individual (personal) protection of medical personnel from contact with hazardous agent. PPE protects medical personnel in the contaminated zone to enable providing care to highly infective patients and patients contaminated with biological, chemical or radiological agent. At present, different PPE for rescue and medical services is available, which differ in the design and intended purpose. Regardless of the design, it consists of two primary components: protective suit with accessories (e.g. protective gloves, protective shoes) and respiratory protection equipment (e.g. face masks, gas filters, ventilation systems). Based on the hazard level caused by the given agent, the CBRNEd team decides to use different protection levels. The PPE intended for medical personnel is divided into filtering and isolating. This division is applicable both to body surface personal protection equipment (protective suits) and respiratory protection equipment (ventilation systems). Prepared to use by CBRNEd teams, the classification of personal protection equipment is based on European standards, assumed and used in Poland (PN-EN 943-1+A1:2019-05, PN-EN 14605+A1:2010), and military standards as per STANAG (e.g. STANAG 4155) [9–10]. Thus, for effective security management of the medical personnel of CBRNEd teams and medical support teams, it became necessary for streamline the marking and practical use of four basic groups of personal protection equipment. For the purposes of the project, the classification proposed by the American Occupational Safety and Health Administration (OSHA) was assumed [11–12]. In addition, the OSHA classification includes the division of respiratory protection equipment.

Środki ochrony indywidualnej dla personelu medycznego

Personel medyczny zespołów CBRNEd udzielający pomocy ofiarom zdarzeń CBRNE stosuje środki ochrony indywidualnej (ŚOI) chroniące przed skażeniem. ŚOI to indywidualne (osobiste) zabezpieczenie personelu medycznego przed kontaktem organizmu z czynnikiem niebezpiecznym. Zapewniają one personelowi personelowi medycznemu bezpieczeństwo w strefie skażonej, umożliwiając opiekę nad pacjentami wysoce zakaźnymi i skażonymi czynnikiem biologicznym, chemicznym czy radiacyjnym. Obecnie dostępne są różnorodne ŚOI dla służb ratowniczych i medycznych, różniące się między sobą budową i przeznaczeniem. Niezależnie od konstrukcji składają się one z dwóch głównych elementów: kombinezonu ochronnego z dodatkami (np. rękawice, obuwie ochronne) oraz środków ochrony dróg oddechowych (np. maski, filtropochłaniacze, systemy wentylacyjne). Bazując na poziomie zagrożenia powodowanego przez dany czynnik, zespół CBRNEd decyduje o użyciu różnych poziomów ochrony. ŚOI przeznaczone dla personelu medycznego podzielono na filtracyjne i izolacyjne. Podział ten dotyczy zarówno środków ochrony powierzchni ciała (kombinezony ochronne), jak i środków ochrony dróg oddechowych (systemy wentylacji). Przygotowany do wykorzystania przez zespoły CBRNEd podział środków ochrony indywidualnej opiera się na normach europejskich, przyjętych i wykorzystywanych w Polsce (PN-EN 943-1+A1:2019-05, PN-EN 14605+A1:2010) i normach wojskowych według standardów STANAG (np. STANAG 4155) [9–10]. Stąd, w celu sprawnego zarządzania bezpieczeństwem personelu medycznego zespołów CBRNEd i zespołów wsparcia medycznego, konieczne stało się uproszczenie oznakowania i zastosowanie w praktyce czterech podstawowych grup środków ochrony indywidualnej. Na potrzeby realizacji projektu przyjęto podział zaproponowany przez amerykańską agencję The Occupational Safety and Health Administration (OSHA) [11–12]. Klasyfikacja OSHA uwzględnia dodatkowo podział środków ochrony dróg oddechowych.

Table 1. OSHA classification of personal protection equipment
Tabela 1. Podział środków ochrony indywidualnej wg OSHA

Special clothing type / Typ odzieży specjalnej	Protective clothing / Odzież ochronna	Respiratory protection equipment / Środki ochrony dróg oddechowych	European standard / Norma europejska
Level A / Poziom A	Gas-tight suit / Kombinezon gazoszczelny	Breathing apparatus carried within suit/air line / Aparat powietrzny noszony wewnątrz kombinezonu/linia powietrzna	EN 943-1+A1:2019-05, PN-EN 943-2:2019-05
Level B / Poziom B	Non-gas-tight suit type 2 or 3 / Kombinezon niegazoszczelny typu 2 lub 3	Breathing apparatus carried outside suit, suit with air line / Aparat powietrzny noszony na zewnątrz kombinezonu, kombinezon z linią powietrzną	EN 943-1+A1:2019-05, PN-EN 943-2:2019-05
Level C / Poziom C	Non-gas-tight suit / Kombinezon niegazoszczelny	Suit with air line; full-face mask with gas filter, extraction and filter unit / Kombinezon z linią powietrzną, maska pełnotwarzowa z filtropochłaniaczem, urządzenie filtrowentylacyjne	PN-EN 14605+A1:2010
Level D / Poziom D	Standard medical clothing / Standardowa odzież medyczna	Half-mask P3/P2, extraction and filter unit / Półmaska P3/P2, urządzenie filtrowentylacyjne	PN-EN 13795+A1:2013-06

Source: Own elaboration based on OSHA materials.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie materiałów OSHA.

For the purposes of CBRNEd team operation, the best technical solutions were selected, available for individual groups of protection equipment. They provide proper security level, work comfort and capability to perform medical procedures with high precision and accuracy. For example, suits ProChem® I CLF, ProChem® II CLF, ProChem® III CLF, Avec MS-1, Tychem 6000 F, Polycombi®, Maskpol KOM-1, full-face masks CM-06 Avec, Promask 3M FM-3 and other PPE types were tested in simulations. Detailed solutions related to the selection and use of PPE are described in the final report of the CBRNE project and operational procedures.

Quick detection and identification of CBRNE agents for medical purposes

Poland, as front-adjacent country, is exposed to the side effects of the use of weapons of mass destruction by the sides of the conflict in Ukraine [12–13]. The risk of inflow of injured soldiers or exodus of civilians from areas, where weapons of mass destruction are used, requires proper preparation of both medical rescue services and healthcare entities [8], [14]. Medical evacuation teams, medical transit centres, medical rescue teams, hospital emergency departments and trauma centres in eastern and central areas of the country are particularly exposed.

With the development of point-of-care testing (POCT) over the recent years, at present it is possible to perform quick imaging and assessment of critical parameters with a proper analyser in direct vicinity of the patient [15–17]. Similar progress was achieved in CBRNE diagnostics. The identification of the reason for the sudden deterioration of health is crucial for proper CBRNE triage, proper diagnosis and initiation of proper medical intervention.

Not all tests can be performed in a regular hospital laboratory. Specialised CBRNE diagnostics occurs in mobile and stationary laboratories with proper reference level and testing and laboratory hardware. However, for the purposes of initial patient care in a field hospital, hospital rescue department or hospital CBRNE isolator, quick identification of hazardous agents is sufficient. Immediate detection enables determining the type and magnitude of hazard and by consequence activating the proper operating procedure, using proper personal protection equipment, medical segregation methods (biological, chemical and radiological, as appropriate) and proper treatment [18–20]. Without the capability for independent identification of the hazardous agent by the medical personnel of CBRNEd teams, it is necessary to acquire essential information (confirmation or verification of results) from external sources. However, this will not always be possible in the short time, necessary to activate safety procedures and use proper treatment. For the purposes of operation of CBRNEd teams, the methodology of quick detection and identification of hazardous agents using portable tests and measurement equipment was developed under the CBRNE Project [18–19] (e.g. AP4C, LCD 3.3, MX908, Griffon G510, RAID 10, T-COR 8, Biodektektor pBDi, IdentiFINDER R440, IdentiFINDER R200 and RadEye

Na potrzeby funkcjonowania zespołów CBRNEd wyselekcjonowano najlepsze rozwiązania techniczne, dostępne w poszczególnych grupach środków ochrony. Zapewniają one odpowiedni poziom bezpieczeństwa, komfort pracy i możliwość wykonywania procedur medycznych o wysokim poziomie precyzji i dokładności. Przykładowo w symulacjach przetestowano kombinowany ProChem® I CLF, ProChem® II CLF, ProChem® III CLF, Avec MS -1, Tychem 6000 F, Polycombi®, Maskpol KOM-1 oraz maski pełnotwarzowe CM-06 Avec, Promask 3M FM-3 oraz inne typy ŚOI. Szczegółowe rozwiązania dotyczące doboru i wykorzystania ŚOI opisane zostały w raporcie końcowym projektu CBRNE i procedurach postępowania.

Szybka detekcja i identyfikacja czynników CBRNE do celów medycznych

Polska jako kraj przyfrontowy zagrożona jest skutkami ubocznymi wykorzystania broni masowego rażenia przez uczestników konfliktu na Ukrainie [12–13]. Ryzyko napływu poszkodowanych żołnierzy czy exodusu ludności cywilnej z obszarów, gdzie została użyta broń masowego rażenia, niesie za sobą konieczność właściwego przygotowania zarówno służb ratownictwa medycznego, jak i podmiotów ochrony zdrowia [8], [14]. Szczególnie narażone na kontakt ze skażonym pacjentem są zespoły ewakuacyjne medycznej, medyczne centra tranzytowe oraz zespoły ratownictwa medycznego, szpitalne oddziały ratunkowe i centra urazowe na terenie wschodnich i centralnych obszarów kraju.

Dzięki obserwowanemu w ostatnich latach rozwojowi diagnostyki przyłóżkowej (ang. *point-of-care testing*, POCT) obecnie możliwe jest szybkie wykonanie badań obrazowych i dokonanie oceny parametrów krytycznych przy wykorzystaniu odpowiedniego analizatora w bezpośrednim otoczeniu pacjenta [15–17]. Podobny postęp nastąpił w obszarze diagnostyki CBRNE. Identyfikacja przyczyny nagłego pogorszenia stanu zdrowia ma kluczowe znaczenie dla poprawnego przeprowadzenia triage'u CBRNE, postawienia właściwej diagnozy i rozpoczęcia odpowiedniej interwencji medycznej.

Nie wszystkie badania są możliwe do wykonania w zwykłym szpitalnym laboratorium. Specjalistyczna diagnostyka CBRNE odbywa się w laboratoriach mobilnych i stacjonarnych, mających odpowiedni poziom referencyjności i dysponujących odpowiednim sprzętem diagnostycznym i laboratoryjnym. Jednak na potrzeby wstępnego zaopatrzenia pacjenta w szpitalu polowym, szpitalnym oddziale ratunkowym czy izolatorze CBRNE szpitala wystarczy szybka identyfikacja czynników niebezpiecznych. Natychmiastowe wykrycie pozwala na określenie rodzaju i wielkości zagrożenia, a w konsekwencji uruchomienie odpowiedniej procedury postępowania, zastosowania właściwych środków ochrony indywidualnej, metod segregacji medycznej (odpowiednio biologicznej, chemicznej i radiacyjnej) i właściwego leczenia [18–20]. Przy braku możliwości samodzielnej identyfikacji czynnika niebezpiecznego przez personel medyczny zespołów CBRNEd konieczne jest pozyskiwanie niezbędnych informacji (potwierdzenia lub weryfikacji wyników) ze źródeł zewnętrznych. Nie zawsze będzie to jednak możliwe w krótkim czasie,

B20-ER). These devices use measurement methods based on surface scanning and sampling (sampling and identification of biological, chemical, and radiological agents). The equipment of the team for the testing and identification of hazardous agents is shown in Figure 4.

niezbędnym do uruchomienia procedur bezpieczeństwa i zastosowania właściwego leczenia. Na potrzeby funkcjonowania zespołów CBRNEmed opracowano, w ramach realizacji Projektu CBRNE, metodykę szybkiej detekcji i identyfikacji materiałów niebezpiecznych przy wykorzystaniu przenośnych testów i urządzeń pomiarowych [18–19] (np. AP4C, LCD 3.3, MX908, Griffin G510, RAID 10, T-COR 8, Biodetektor pBDi, IdentiFINDER R440, IdentiFINDER R200 oraz RadEye B20-ER). Urządzenia te wykorzystują metody pomiarowe oparte na technice skanowania powierzchni i badania próbek (ang. *sampling and identification of biological, chemical, and radiological agents*). Wyposażenie zespołu ds. detekcji i identyfikacji czynników niebezpiecznych ilustruje rycina 4.



Figure 4. CBRNE agents point-of-care testing and identification station
Rycina 4. Stanowisko przyłózkowej detekcji i identyfikacji czynników CBRNE

Source: Own archives.

Źródło: Archiwum własne.

The quick development of portable CBRNE diagnostics requires an on-going update of diagnostic methods, measurement technics and skills of results interpretation for medical purposes.

Szybki rozwój przenośnej diagnostyki CBRNE wymusza ciągłą aktualizację metod diagnostycznych, doskonalenie technik pomiarowych i umiejętności interpretacji wyników na potrzeby medyczne.

Medical and non-medical decontamination

The decontamination of victims is a process of eliminating hazardous substances from the surface (outside decontamination) or inside (inside decontamination) of the body. The purpose of this procedure is to interrupt the exposure of the body to contact with hazardous substance and to eliminate its negative impact [21–23]. For the purposes of operation of CBRNEmed teams, procedures were developed for local outside decontamination and general decontamination using wet and dry technics (e.g.: Decpol ABS/RAD, FastAct, FiberTec) and hybrid technic, including variable environmental conditions that have a negative impact on the victims and the decontamination team. Also, the rules of cooperation with medical entities were developed, which enable inside decontamination, e.g. by dialysis. The procedures describe the rules of organisation of single, multiple and mass decontamination considering the diversity of the population intended for the procedure. An integral part of the contemporary decontamination procedure is efficiency control using the

Dekontaminacja medyczna i niemedyczna

Dekontaminacja ofiar to proces usunięcia substancji niebezpiecznej z powierzchni ciała (dekontaminacja zewnętrzna) lub jego wnętrza (dekontaminacja wewnętrzna). Procedura ta ma na celu przerwanie narażenia organizmu na bezpośredni kontakt z substancją niebezpieczną i eliminację jej negatywnego oddziaływania [21–23]. Na potrzeby funkcjonowania zespołów CBRNEmed opracowane zostały procedury dekontaminacji zewnętrznej miejscowej i ogólnej przy zastosowaniu technik mokrej i suchej (np.: Decpol ABS/RAD, FastAct, FiberTec) oraz techniki hybrydowej, z uwzględnieniem zmiennych warunków środowiskowych mających negatywny wpływ na ofiary i zespół dekontaminacyjny. Opracowano również zasady współdziałania z podmiotami leczniczymi, pozwalające na przeprowadzenie dekontaminacji wewnętrznej, np. przy wykorzystaniu dializy. W procedurach opisano zasady organizacji dekontaminacji jednostkowej, mnogiej i masowej z uwzględnieniem różnorodności populacji przewidzianej do wykonania tego zabiegu. Współcześnie integralną częścią procedury dekontaminacyjnej jest

technics described in the chapter describing the POCT-CBRNE. The medical security of the decontamination process by the medical team is another innovation, which increases the survivability of the contaminated victims in severe clinical condition that require life support during its course.

A particular challenge before the CBRNEmed teams is multiple/mass decontamination. The capability of proper organisation of the decontamination line to enable the initial decontamination of a large number of victims in a short time requires, in addition to proper equipment, particular resource management skills (human, equipment, information) and security condition control skills.

kontrola skuteczności jej wykonania przy wykorzystaniu technik opisanych w rozdziale omawiającym POCT-CBRNE. Zabezpieczenie medyczne procesu dekontaminacji przez zespół medyczny, to też nowość, pozwala na zwiększenie szans na przeżycie skażonych ofiar będących w ciężkim stanie klinicznym, wymagających podtrzymania funkcji życiowych w trakcie jej trwania.

Szczególnym wyzwaniem dla zespołów CBRNEmed jest dekontaminacja mnoga/masowa. Umiejętność właściwego zorganizowania ciągu dekontaminacyjnego pozwalającego na wstępne odkażenie dużej liczby poszkodowanych w krótkim czasie wymaga, obok odpowiedniego wyposażenia, szczególnych umiejętności zarządzania zasobami (ludzkimi, sprzętowymi, informacyjnymi) oraz kontroli warunków bezpieczeństwa.



Figure 5. Mass decontamination with medical security of the victim

Rycina 5. Dekontaminacja masowa z zabezpieczeniem medycznym ofiary

Source: Own archives.

Źródło: Archiwum własne.

The use of CBRNEmed teams in the initial and proper decontamination process, on-going and final efficiency control capability, intensive healthcare during the process, use of novelty technics and measurement equipment for contamination control, transform the decontamination process from simple washing into an advanced medical procedure. The detailed procedures with different decontamination types are described in the above-mentioned set of CBRNEmed procedures.

Wykorzystanie zespołów CBRNEmed w procesie wstępnej i właściwej dekontaminacji, możliwości bieżącej i końcowej kontroli jej efektywności, intensywna opieka medyczna w trakcie jej trwania, wykorzystanie nowatorskich technik i sprzętu pomiarowego do kontroli skażeń, zmieniają proces dekontaminacji z prostego mycia na zaawansowaną procedurę medyczną. Szczegółowe procedury postępowania przy różnych rodzajach dekontaminacji opisane zostały we wspomnianym powyżej zbiorze procedur CBRNEmed.

Isolation and transport of contaminated and highly infective patients

CBRNEmed teams and support teams will play a very important role during the patient transport from the place of CBRNE incident to the hospital. This type of transport will always have the character of contaminated or so-called “dirty” transport. If the transport to the designated medical facility applies to the patient contaminated with a particularly hazardous agent or suspected of contracting a highly infective and hazardous disease, it can only be completed by specially trained medical personnel. In addition to the medical knowledge necessary for proper patient care, the skill of using personal protection equipment and operate the isolation and transport chamber (e.g.: BioBag30-40 EBV) or

Izolacja i transport pacjentów skażonych i wysoce zakaźnych

Zespoły CBRNEmed i zespoły wsparcia będą odgrywać bardzo ważną rolę podczas transportu pacjenta z miejsca zdarzenia CBRNE do szpitala. Ten rodzaj transportu zawsze będzie miał charakter transportu skażonego, czyli tzw. „brudnego”. W przypadku gdy transport do wskazanej placówki medycznej dotyczy pacjenta skażonego czynnikiem szczególnie niebezpiecznym lub podejrzanego o zachorowanie na chorobę wysoce zakaźną i niebezpieczną, zrealizować go może wyłącznie specjalnie przeszkolony personel medyczny. Oprócz wiedzy medycznej niezbędnej do prowadzenia prawidłowej opieki nad pacjentem, potrzebna jest umiejętność stosowania środków ochrony indywidualnej i obsługi komory

special CBRNE ambulance and their equipment is required. The lack of proper equipment and training of the medical personnel involved in “dirty” transport prevents its proper process or significantly increases the risk of contamination of the medical personnel and environment, which creates a risk to public security and health. The hospital isolation of contaminated patients and patients exposed to CBRNE agent requires using appropriate stationary or mobile infrastructure.

izolacyjno-transportowej (np.: BioBag30-40 EBV) lub specjalistycznego ambulansu CBRNE oraz elementów ich wyposażenia. Brak właściwego sprzętu i przeszkolenia personelu medycznego wykonującego „brudny” transport uniemożliwia jego właściwe przeprowadzenie lub znacząco zwiększa ryzyko kontaminacji personelu medycznego i środowiska, stwarzając zagrożenie dla bezpieczeństwa i zdrowia publicznego. Izolacja szpitalna pacjentów skażonych i poddanych działaniu czynnika CBRNE wymaga wykorzystania odpowiedniej infrastruktury stacjonarnej lub mobilnej.



Figure 6. Mobile infection CBRNE isolator
Rycina 6. Mobilny izolator zakaźny CBRNE

Source: Own archives.
Źródło: Archiwum własne.

In turn, the operation of the above-mentioned infrastructure requires proper training and preparation of the medical and technical personnel. This is another task for the CBRNemed teams operating in the field or stationary hospital area. At present, in Poland there are no fully operational infection isolators with BSL-3/BSL-4 biological protection level. The gap in this area may be bridged by mobile and transport isolators that enable temporary isolation and transport of patients for centres beyond the country borders. The possibility and method of using transport and stationary isolation in the above-mentioned sets of CBRNE medical procedures.

Obsługa wspomnianej wyżej infrastruktury wymaga z kolei odpowiedniego wyszkolenia i przygotowania personelu medycznego i technicznego. Jest to kolejne zadanie dla zespołów CBRNemed działających w obszarze szpitala polowego lub stacjonarnego. W Polsce nie ma obecnie w pełni funkcjonujących izolatorów zakaźnych poziomu ochrony biologicznej BSL-3/BSL-4. Lukę w tym obszarze mogą zapełnić izolatory mobilne i transportowe pozwalające na czasową izolację i transport pacjentów do ośrodków poza granicami kraju. Możliwości i sposób wykorzystania izolacji transportowej i stacjonarnej opisano w wspomnianych powyżej zbiorach procedur medycznych CBRNE.

CBRNE triage

The objective of medical segregation is to determine the patient life hazard degree. The analysis of gaps in the medical rescue system and healthcare personnel competences also showed gaps in CBRNE triage operation skills. The method of assessment of the patients condition in CBRNE incidents differs from the triage used in incidents with injuries of purely mechanical origin. Initial segregation systems (e.g.: START, SALT, Careflight) and extended (proper) triage systems may prove inadequate during the initial patient assessment for delayed or different mechanism of harmful impact of the hazardous substance [24–25]. Thus, for the purposes of proper response to a CBRNE incident, properly developed detailed segregation protocols are used according to the nature of the incident (biological, chemical, radiological/nuclear) [24–26].

Triage CBRNE

Celem segregacji medycznej jest ustalenie, stopnia zagrożenia życia pacjenta. Analiza luk w systemie ratownictwa medycznego i kompetencji personelu ochrony zdrowia wykazała również braki w umiejętności prowadzenia triage'u CBRNE. Sposób oceny stanu pacjenta w zdarzeniach CBRNE jest odmienny w stosunku do triage'u wykorzystywanego w zdarzeniach z obrażeniami pochodzenia czysto mechanicznego. Systemy segregacji wstępnej (np.: START, SALT, Careflight) i systemy triage'u rozszerzonego (właściwego) mogą okazać się niewystarczające podczas wstępnej oceny pacjenta przy opóźnionym lub odmiennym mechanizmie szkodliwego działania substancji niebezpiecznej [24–25]. Stąd na potrzeby właściwego reagowania na zdarzenie CBRNE wykorzystywane są odpowiednio opracowane i przypisane do

An impediment to CBRNE triage will be the lack of identification of the substance affecting the organism. Thus, the detection and identification of hazardous agents will be particularly important for supporting the triage and medical procedure. If the hazardous agent is not identified, medical personnel will only be able to try and identify the agent based on the assessment of the nature of the incident and clinical assessment of the patient. The above-described components of the new response system in the form of aggressive medical tactics, use of personal protection equipment, decontamination techniques and methods of detection and identification of hazardous agents will have an impact on the capability to conduct CBRNE triage at the subsequent stages of providing care for the victims.

Conclusions

The contemporary CBRNE hazards indicate that an important component of proper preparation and response of the medical rescue and healthcare systems is the cooperation between the Ministry of Health, Ministry of National Defence and Ministry of Internal Affairs, conducted at every stage of crisis management: prevention, planning, monitoring, response and reconstruction. In the era of real military danger arising from the escalation of the armed conflict in Ukraine, the cooperation with the medical services of armed forces seems to be the most important. CBRNEmed teams are a new concept of highly specialised medical teams, with specific organisational structure and control (command) rules, intended to provide for CBRNE incident victims in pre-hospital and hospital conditions. Worldwide, this type of solutions have been operated in civilian rescue systems for many years, e.g. British HART teams (The Hazardous Area Response Team) [27–28]. In practice, these are “special purpose” teams, of which the task is to provide medical care to patients in hazardous environments or undertake medical procedures in difficult environmental conditions. There are many models, which may be based on in the implementation of new solutions. With the development of personal protection equipment, in particular in the field of the use of suits and respiratory protection, medical rescue operations tactics and the scope of operations of the medical rescue and healthcare systems may change. The traditional strict division into safe and dangerous zone is not fully valid in relation to contemporary hazards (challenges). Thus, the new tactics considering aggressive and flexible response to hazards, considering the analysis of risks and expected benefits, restrictions, opportunities and cost, is fully justified. The equipment of medical personnel (properly trained) with personal protection equipment enables safe processing of the patient, both in pre-hospital rescue and in the hospital rescue department and further, in the clinical toxicology department, intensive care unit or communicable diseases department. The wide range of personal protection equipment enables using them in most incidents of biological, chemical and radiological/nuclear origin and safe fulfilment of the above-described tasks.

charakteru zdarzenia (biologicznego, chemicznego, radiacyjnego/nuklearnego) szczegółowe protokoły segregacji [24–26].

Utrudnieniem w prowadzeniu triage'u CBRNE będzie brak identyfikacji substancji, która oddziałuje na organizm. Detekcja i ustalenie czynników niebezpiecznych będzie zatem niezwykle istotnym działaniem wspierającym triage i postępowanie medyczne. Przy braku rozpoznania czynnika niebezpiecznego personelowi medycznemu pozostawać będzie jedynie próba rozpoznania czynnika na podstawie oceny charakteru zdarzenia i oceny klinicznej pacjenta. Opisane powyżej elementy nowego systemu reagowania w postaci agresywnej taktyki medycznej, wykorzystania środków ochrony indywidualnej, technik dekontaminacji oraz metod detekcji i identyfikacji czynników niebezpiecznych będą miały wpływ na możliwość prowadzenia triage'u CBRNE na kolejnych etapach udzielania pomocy poszkodowanym.

Podsumowanie

Współczesne zagrożenia CBRNE pokazują, że istotnym elementem poprawnego przygotowania i reagowania ratownictwa medycznego i systemu ochrony zdrowia jest współpraca pomiędzy Ministerstwem Zdrowia, Ministerstwem Obrony Narodowej i Ministerstwem Spraw Wewnętrznych, realizowana na wszystkich etapach zarządzania kryzysowego: prewencji, planowania, monitorowania, reagowania oraz odbudowy. W dobie realnego zagrożenia militarnego wynikającego z eskalacji konfliktu zbrojnego na Ukrainie najbardziej istotna wydaje się współpraca ze służbami medycznymi sił zbrojnych. Zespoły CBRNEmed stanowią nową koncepcję wysokospecjalistycznych zespołów medycznych, o określonej strukturze organizacyjnej i zasadach kierowania (dowodzenia), przeznaczonych do zaopatrzenia ofiar zdarzenia CBRNE w warunkach przedszpitalnych i szpitalnych. Na świecie od wielu lat funkcjonują tego typu rozwiązania w systemach cywilnych ratownictwa, np. brytyjskie zespoły HART (*The Hazardous Area Response Team*) [27–28]. W praktyce są to zespoły „specjalnego przeznaczenia”, których zadaniem jest udzielanie pomocy medycznej pacjentom w środowiskach niebezpiecznych lub podejmujących medyczne czynności ratunkowe w warunkach środowiskowo trudnych. Istnieje wiele wzorców, na których można opierać się przy wprowadzaniu nowych rozwiązań. Dzięki rozwojowi środków ochrony indywidualnej – zwłaszcza w obszarze wykorzystania kombinezonów i ochrony dróg oddechowych – zmianie może ulec taktyka działań ratownictwa medycznego i zakres możliwości pracy systemu ratownictwa medycznego i systemu ochrony zdrowia. Tradycyjny, sztywny podział na strefy bezpieczną i niebezpieczną wobec współczesnych zagrożeń (wyzwań) nie jest już do końca aktualny. Dlatego nową taktyką uwzględniającą agresywne i elastyczne reagowanie na zagrożenia z uwzględnieniem analizy ryzyka i spodziewanych korzyści, ograniczeń i możliwości, efektów oraz kosztów jest w pełni zasadna. Wyposażenie personelu medycznego (odpowiednio przeszkolonego) w 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, oddziału intensywnej terapii czy oddziału chorób

The development of common tactics of rescue and treatment operations, based on the same principles and priorities, opens the opportunities of cooperation with the military health service in the elimination of the health effects of weapons of mass destruction. The changes in the CBRNE incident response system developed under the CBRNE Project and presented in this publication increase the response potential of the civilian healthcare and approximate its capabilities to the capabilities of NATO armed forces medical services.

zakaźnych. Szeroki wybór środków ochrony indywidualnej pozwala na zastosowanie ich w większości zdarzeń pochodzenia biologicznego, chemicznego i radiacyjnego/nuklearnego i umożliwia bezpieczne wykonanie szczegółowo opisanych powyżej zadań.

Wypracowanie wspólnej taktyki działań ratunkowych i leczniczych, opartych na tych samych zasadach i priorytetach, otwiera możliwości współdziałania z wojskową służbą zdrowia w likwacji skutków zdrowotnych użycia broni masowego rażenia. Opracowane w ramach Projektu CBRNE zmiany systemu reagowania na zagrożenia CBRNE, przedstawione w niniejszej publikacji, zwiększają potencjał reagowania cywilnej służby zdrowia, zbliżając jej możliwości do możliwości reagowania służb medycznych sił zbrojnych NATO.

Literature / Literatura

- [1] Trzos A., Łyziński K., Długosz K., *Specjalistyczne Zespoły Ratownictwa Medycznego CBRNEmed. Koncepcja, możliwości, spodziewane korzyści*, „Na Ratunek” 2021, 4, 22–28.
- [2] Trzos A., Łyziński K., *Ratownictwo Medyczne w incydentach CBRNE/HAZMAT w obliczu współczesnych szans i zagrożeń*, w: *Bezpieczeństwo Zdrowotne: postępy monitorowania, obrazowania stanu zdrowia i środowiska*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza, Poznań 2019, s. 183–202.
- [3] Trzos A., Łyziński K., Jurowski K., *Ratownictwo medyczne w zdarzeniach CBRNE/HAZMAT*, SFT Vol. 54 Issue 2, 2019, pp. 142–159, <https://doi.org/10.12845/sft.54.2.2019.11>.
- [4] Nazari S., Sharififar S., Ahmadi Marzaleh M., Zargar S., Azarmi S., Akbari Shahrestanaki Y., *Structural Elements and Requirements in Forming Prehospital Health Response Teams in Response to Chemical, Biological, Radiation, and Nuclear Incidents (CBRN), a Comparative Review Study*, “Disaster Medicine and Public Health Preparedness”, February 2023, <https://doi.org/10.1017/dmp.2022.259>.
- [5] Schmeitz C.T.J., Barten D.G., van Barneveld K.W.Y., DeCauwer H., Mortelmans L., van Osch F., Wijnands J., Tan E.C., Boin A., *Terrorist Attacks Against Emergency Medical Services: Secondary Attacks are an Emerging Risk*, “Prehospital and Disaster Medicine” 2022, 37, 2, 185–191, <https://doi.org/10.1017/S1049023X22000140>.
- [6] Jasani G.N., Alfalasi R., Cavaliere G.A., Ciotto G.R., Lawner B.J., *Terrorists Use of Ambulances for Terror Attacks: A Review*, “Disaster Medicine and Public Health Preparedness” 2021, 36, 1, 14–17, <https://doi.org/10.1017/S1049023X20001260>.
- [7] EMS Terrorism Response – PubMed, <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1nb5yeivu0010.hanproxy.cm-uj.krakow.pl/30725674/> [dostęp: 11.12.2024].
- [8] Smith M., Weir A., *CBRNE3 medicine in the austere environment: the challenges*, “BMJ Military Health” 2022, 168, 423–425, <https://doi.org/10.1136/military-2022-002259>.
- [9] PN-EN 943-1+A1:2019-05 (wersja angielska), <https://sklep.pkn.pl/pn-en-943-1-a1-2019-05e.html> [dostęp: 26.06.2023].
- [10] PN-EN 14605+A1:2010 (wersja polska), <https://sklep.pkn.pl/pn-en-14605-a1-2010p.html> [dostęp: 26.06.2023].
- [11] *Best Practices for Hospital-Based First Receivers of Victims from Mass Casualty Incidents Involving the Release of Hazardous Substances*, OSHA 3249-08N 2005.
- [12] *Could it Happen? The Use of Weapons of Mass Destruction in Response to the Russo-Ukrainian War*, Towson University Journal of International Affairs, <https://wp.towson.edu/iajournal/2022/05/09/could-it-happen-the-use-of-weapons-of-mass-destruction-in-response-to-the-russo-ukrainian-war/> [dostęp: 28.06.2023].
- [13] *Wojna w Ukrainie – implikacje dla bezpieczeństwa Polski. Czy Polacy powinni się bać?*, Instytut Nowej Europy, <https://ine.org.pl/wojna-w-ukrainie-implikacje-dla-bezpieczenstwa-polski-czy-polacy-powinni-sie-bac/> [dostęp: 28.06.2023].
- [14] Goodwin Veenema T., *Disaster Nursing and Emergency Preparedness*, 2018, <https://doi.org/10.1891/97808026144225>.
- [15] Ferreira C.E.S., Guerra J.C.C., Shlessarenko N., et al, *Point-of-Care Testing: General Aspects*, “Clinical Laboratory” 2018, 64, 1–9, <https://doi.org/10.7754/Clin.Lab.2017.170730>.
- [16] Díaz-Gómez J.L., Mayo P.H., Koenig S.J., *Point-of-Care Ultrasonography*, “The New England Journal of Medicine” 2021, 385, 1593–1602, <https://doi.org/10.1056/NEJMra1916062>.
- [17] Sumita N.M., Ferreira C.E.S., Martino M.D.V., et al, *Clinical Applications of Point-of-Care Testing in Different Conditions*, “Clinical Laboratory” 64, 1105–1112, <https://doi.org/10.7754/Clin.Lab.2018.171021>.
- [18] Trzos A., Łyziński K., Krzowski Ł., Biały K., Korbiel E., *Szybka diagnostyka czynników CBRNE w szpitalnym oddziale ratunkowym*, „Na Ratunek” 2023, 5, 24–34.
- [19] Trzos A., Łyziński K., Biały K., Korbiel E., *Szybka detekcja i identyfikacja czynników CBRNE w szpitalnym oddziale ratunkowym*, „Na Ratunek” 2023, 4, 56–62.

- [20] Kuligowska M., Neffe S., *Collection and Identification of Biological Samples Based on Military On-Site Detection Devices*, "Bulletin of the Military University of Technology" 2021, 70, 4, 85–125, <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0545>.
- [21] Biały K., Trzos A., Łyziński K., Wydra A., *Dekontaminacja wstępna z wykorzystaniem techniki suchej dekontaminacji*, „Na Ratunek” 2022, 6, 27–33.
- [22] 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>.
- [23] Zhu H., Maibach I.H., *Skin Decontamination. A Comprehensive Clinical Research Guide*, Springer 2020, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-24009-7>.
- [24] Bazyar J., Farrokhi M., Khankeh H., *Triage Systems in Mass Casualty Incidents and Disasters: A Review Study with A Worldwide Approach*, "Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences" 2019, 7, 482–494, <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.119>.
- [25] Lansdowne K., Scully C.G., Galeotti L., Schwartz S., Marcozzi D., Strauss D.G., *Recent advances in medical device triage technologies for chemical, biological, radiological, and nuclear events*, "Prehospital and Disaster Medicine" 2015, 30, 320–323, <https://doi.org/10.1017/S1049023X15004641>.
- [26] Ramesh A., Kumar S., *Triage, monitoring, and treatment of mass casualty events involving chemical, biological, radiological, or nuclear agents*, "Journal of Pharmacy and Bioallied Sciences" 2010, 2, 239–247, <https://doi.org/10.4103/0975-7406.68506>.
- [27] *Specialist resources within the Ambulance Service – HART and SORT*, Ambulance CPD, <https://ambulancecpd.com/lessons/specialist-resources-within-the-ambulance-service-hart-and-sort/> [dostęp: 11.04.2023].
- [28] Huabbangyang T., Nomrabporn T., Chiraratchawarich W., Rojsaengroeng R., *Effects of the Hazardous Area Response Team Training Program on the Knowledge and Confidence in Operational Skills of Prehospital Emergency Medical Personnel in Thailand: A Quasi-Experimental Study*, "Open Access Emergency Medicine" 2023, 15, 447–456, <https://doi.org/10.2147/OAEM.S436054>.

ARKADIUSZ TRZOS, M.D., PH.D. – specialising in disaster medicine, emergency medicine, extreme medicine; acting Head of the Department of Disaster Medicine and Emergency Care at the Jagiellonian University Medical College.

KAROL ŁYZIŃSKI PH.D. – medical rescue worker at the Kraków Emergency Medical Services; Assistant at the Department of Disaster Medicine and Emergency Care, the Jagiellonian University Medical College.

DR N. MED. ARKADIUSZ TRZOS – specjalności: medycyna katastrof, medycyna ratunkowa, medycyna ekstremalna, p.o. Kierownik Zakładu Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum.

DR N. O ZDR. KAROL ŁYZIŃSKI – ratownik medyczny w Krakowskim Pogotowiu Ratunkowym, asystent w Zakładzie Medycyny Katastrof i Pomocy Doraźnej Uniwersytetu Jagiellońskiego Collegium Medicum.

sft.cnbop.pl

