

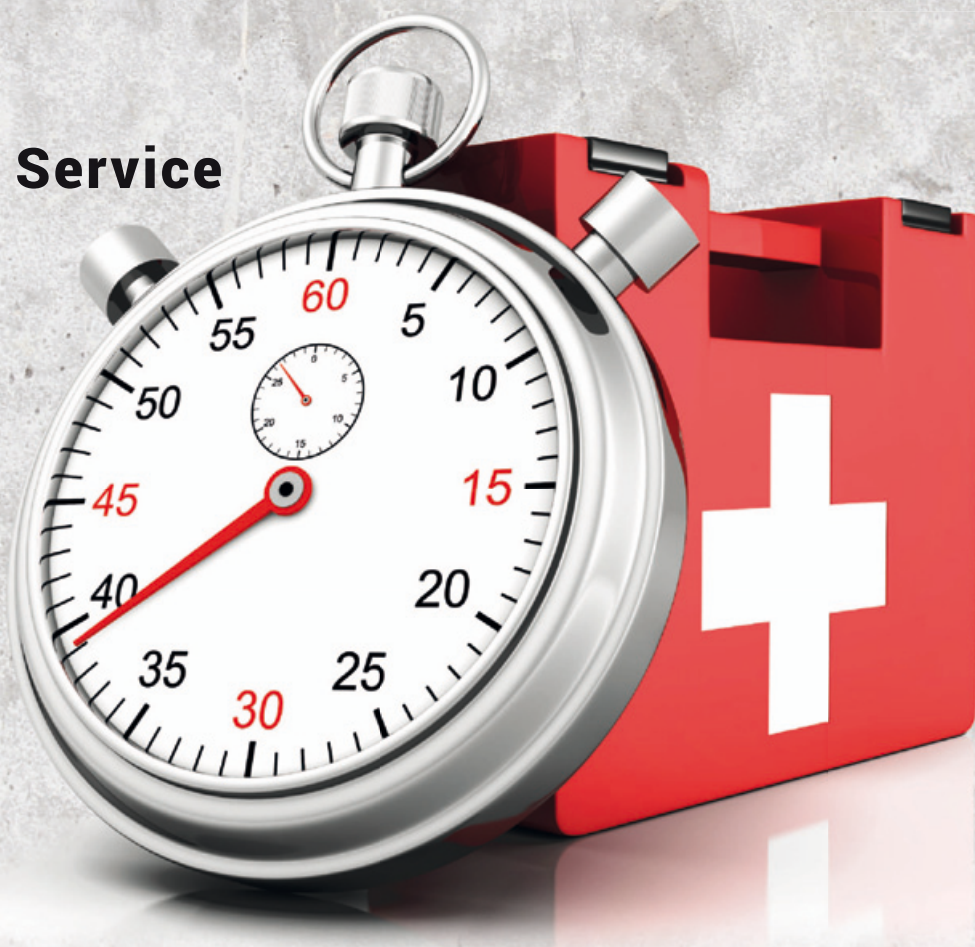
SFT

SAFETY & FIRE TECHNOLOGY

Statistical Modelling of Emergency Service Responses

p. 8

Modelowanie statystyczne reakcji służb ratowniczych

s. 8

Numerically Simulated Structural Response of a Bearing Steel Frame with Joints of Varying Stiffness to Fully Developed Fire Conditions **p. 32**

Symulowana numerycznie reakcja na pożar rozwinięty stalowej ramy nośnej z węzłami o różnej sztywności **s. 32**

Features and Performance of Forest Fire Access Roads and Fire Department Connections as Assessed by Employees of the Polish State Fire Service **p. 68**

Funkcjonalność leśnych dojazdów pożarowych i punktów czerpania wody w ocenie pracowników Państwowej Straży Pożarnej **s. 68**

Evaluation of the Effectiveness of Active HRD Systems for Dust Explosion Suppression in a Technology Demonstrator System **p. 46**

Ocena skuteczności tłumienia wybuchu pyłowego w układzie demonstratora przez aktywny system HRD **s. 46**

EDITORIAL COMMITTEE / KOMITET REDAKCYJNY

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

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

Language editing / Redakcja językowa:

mgr Aleksandra Grzęda
mgr Katarzyna Szulejewska
AGIT Agnieszka Rydz

Projekt okładki: Arkadiusz Choraży

ISSN 2657-8808

DOI: 10.12845/sft

© by Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2018.
Pewne prawa zastrzeżone. Artykuły udostępnione na licencji CC BY-SA 4.0
/ Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research
Institute, 2018. Some rights reserved. The articles are published under
Creative Commons License the CC BY-SA 4.0

Editorial Office / Redakcja:

ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k/Otwocka
tel. 22 769 32 20
e-mail: sft@cnbop.pl
www: sft.cnbop.pl

Publisher / Wydawca:



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

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



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

Circulation / Nakład: 50 egz.

Typesetting / Skład: Arkadiusz Choraży
Print and binding / Druk i oprawa: Studio Sense

EDITORIAL ADVISORY BOARD / RADA NAUKOWA

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

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

dr Shamsutdin Sharabutdinovich Dagirov
State Fire Academy of EMERCOM of Russia

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

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

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

dr inż. Hauke Speth
Institute for Fire and Rescue Technology in Dortmund,
Germany

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

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

dr Ai Sekizawa
prof. Tokyo University of Science, Japan

INDEXING IN DATABASES / INDEKSACJA W BAZACH

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

BOOKSTORE PLATFORMS & LIBRARIES /
PLATFORMY KSIĘGARNIE I BIBLIOTEKI

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

DEAR READERS,

We are glad to present you the first issue of CNBOP-PIB scientific journal in its relaunched edition. It is well known that changes can be demanding, however, they are indispensable for the development. Therefore, the Editorial Board introduces you a journal under a new title “Safety & Fire Technology”, which will henceforth appear in the form of a biannual. The articles are still going to be published both in Polish and English but the leading language will be the latter. A new journal structure will be introduced. Resigning from existing chapters, we have redefined the thematic scope, according to which the articles sent to us are qualified for the publishing process. The following areas are included: fire dynamics and modelling, fire protection systems and methods, fire prevention and mitigation, fire investigation and risk analysis, firefighting tactics, safety and technology, fire safety legislation and education, civil protection.

While continuing the best, several-year BiTP tradition, we are moving towards further internationalisation of the journal. Thanks to the funds granted to us by the Ministry of Science and Higher Education of Poland as part of the “Support for Scientific Journals” programme, we can develop the competences and equipment capabilities of the editorial staff. Consequently, we will have not only an opportunity to enhance promotion of our publishing house, but also to establish cooperation with international experts. Moreover, we are working on a new, up-dated version of the website <https://sft.com.pl>. One of the benefits of the SFT inclusion in the upper-mentioned programme is the presence of SFT in the list of scientific journals scored by the Ministry of Science and Higher Education. According to the list, 20 points are awarded to the author’s scientific achievements for publishing a scientific article in “Safety & Fire Technology”.

We would like to invite you to become SFT authors and reviewers. Please be informed that SFT provides patronage over scientific events related to its thematic scope.

In conclusion, we wish you a pleasant reading of a new SFT issue.

Editorial Committee

SZANOWNI CZYTELNICY,

Prezentujemy Państwu pierwszy numer czasopisma naukowego wydawnictwa CNBOP-PIB w nowej odsłonie. Zmiany bywają wymagające, ale na drodze rozwoju wydają się nieodzowne. Dlatego też Redakcja oddaje w Państwa ręce periodyk pod zmienionym tytułem Safety & Fire Technology, który odtąd ukazywać się będzie w formie półrocznika. Nadal publikujemy artykuły w języku polskim i angielskim, jednak wiodącym językiem wydania jest drugi z wymienionych. Proponujemy także nową strukturę czasopisma. Rezygnując z dotychczasowych działów, zredefiniowaliśmy zakres tematyczny, w ramach którego nadsyłane do redakcji materiały są kwalifikowane do procesu wydawniczego. Należą do niego następujące obszary: teoria i modelowanie rozwoju pożaru, metody i środki zapobiegania pożarom oraz ograniczania ich skutków, dochodzenia popożarowe i analiza ryzyka pożaru, taktyka, technika i bezpieczeństwo w działaniach ratowniczo-gaśniczych, aspekty prawne i edukacja w ochronie przeciwpożarowej, ochrona ludności.

Kontynuując najlepsze, kilkunastoletnie tradycje BiTP, podążamy w kierunku dalszego umiędzynarodowienia czasopisma. Dzięki środkom, przyznanim nam przez MNiSW w ramach programu Wsparcie dla Czasopism Naukowych, możemy rozwijać kompetencje oraz możliwości sprzętowe redakcji, skuteczniej promować wydawnictwo, nawiązywać współpracę z międzynarodowymi ekspertami. Trwają także prace nad nową, nowoczesną odsłoną strony <https://sft.com.pl>. Kwalifikacja do wspomnianego programu zapewniła nam jednocześnie miejsce w wykazie czasopism naukowych punktowanych przez MNiSW. Zgodnie z nim za publikację artykułu naukowego na łamach Safety & Fire Technology przyznawanych jest 20 punktów do dorobku naukowego autora.

Liczymy na współpracę z Państwem w roli autorów, recenzentów. Przypominamy także o możliwości objęcia przez SFT patronatem wydarzeń naukowych.

Życzymy przyjemnej lektury czasopisma pod nową odsłoną.

Komitet Redakcyjny

CONTENT

- 8** Statistical Modelling of Emergency Service Responses
Jarosław Prońko, Jacek Zboina, Jan Kielin, Beata Wojtasiak, Marta Iwańska
- 32** Numerically Simulated Structural Response of a Bearing Steel Frame with Joints of Varying Stiffness to Fully Developed Fire Conditions
Mariusz Maślak, Piotr Woźniczka
- 46** Evaluation of the Effectiveness of Active HRD Systems for Dust Explosion Suppression in a Technology Demonstrator System
Piotr Lesiak, Damian Bąk, Daniel Małozieć, Marcin Grabarczyk, Andrzej Kołaczkowski
- 68** Features and performance of forest Fire Access Roads and Fire Department Connections as Assessed by Employees of the Polish State Fire Service
Sylwester M. Grajewski, Andrzej Czerniak, Paweł Szóstakowski
- 88** The application of Greenberg's Model Modification for Estimating the Evacuation Time of People from Public Utility Buildings
Iwona Orłowska, Marek Dziubiński
- 106** A Review of Models That Take Into Account the Effects of Emotional Contagion During Evacuation
Mariusz Barański
- 118** The Impact of Structural and Material Solutions for Glazing Connections on Deformation During Fire
Konrad Podawca, Marek Przywózki
- 130** The Role of EASeR Project in Enhancing Search and Rescue Teams Performance
Mariusz Feltynowski, Michał Langner
- 144** Determinants of the Perception of Asbestos
Dorota Szulczyńska
- 162** Firefighting Expert Witnesses and Their Role in the Safety System
Karol Pachnik
- 174** Analysis of Data on Inhalation Poisoning using the Example of the Łuków County in the years 2015–2017
Łukasz Dudziński, Piotr Konrad Leszczyński

SUPPLEMENT

- 188** The Ethos of St. Florian's knights
Jan Krynicki

EVENTS

- 198** ETCC 2020 European Technical Coating Congress

SPIS TREŚCI

- 8** Modelowanie statystyczne reakcji służb ratowniczych
Jarosław Prońko, Jacek Zboina, Jan Kielin, Beata Wojtasiak, Marta Iwańska
- 32** Symulowana numerycznie reakcja na pożar rozwinięty stalowej ramy nośnej z węzłami o różnej sztywności
Mariusz Maślak, Piotr Woźniczka
- 46** Ocena skuteczności tłumienia wybuchu pyłowego w układzie demonstratora przez aktywny system HRD
Piotr Lesiak, Damian Bąk, Daniel Małozieć, Marcin Grabarczyk, Andrzej Kołaczkowski
- 68** Funkcjonalność leśnych dojazdów pożarowych i punktów czerpania wody w ocenie pracowników Państwowej Straży Pożarnej
Sylwester M. Grajewski, Andrzej Czerniak, Paweł Szóstakowski
- 88** Zastosowanie modyfikacji modelu Greenberga do szacowania czasu ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej
Iwona Orłowska, Marek Dziubiński
- 106** Przegląd modeli uwzględniających efekt zarażania emocjonalnego w procesie ewakuacji
Mariusz Barański
- 118** Wpływ rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych połączeń przeszkleń na odkształcenia podczas działania ognia
Konrad Podawca, Marek Przywózki
- 130** Rola projektu EASeR w poprawie skuteczności działań grup poszukiwawczo-ratowniczych
Mariusz Feltynowski, Michał Langner
- 144** Determinanty postrzegania azbestu
Dorota Szulczyńska
- 162** Biegli z zakresu pożarnictwa i ich rola w systemie bezpieczeństwa
Karol Pachnik
- 174** Analiza danych dotyczących zatruc wziewnych na przykładzie powiatu łukowskiego w latach 2015–2017
Łukasz Dudziński, Piotr Konrad Leszczyński

DODATEK

- 188** Etos rycerzy św. Floriana
Jan Krynicki

WYDARZENIA

- 198** ETCC 2020 European Technical Coating Congress

Jarosław Prońko, D.Sc., JKU prof.^{a)*}; sen. brig. Jacek Zboina, Ph.D.^{b)};
sen. brig. (retd.) Jan Kielin, M.Sc. Eng.^{b)}; Beata Wojtasiak, M.A.^{b)}; Marta Iwańska, M.A.^{b)}

^{a)} Jan Kochanowski University in Kielce, the Institute of Management / Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Instytut Zarządzania

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

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: jaroslaw.pronko@ujk.edu.pl

Statistical Modelling of Emergency Service Responses

Modelowanie statystyczne reakcji służb ratowniczych

ABSTRACT

Aim: The aim of this article is to demonstrate the applicability of historical emergency-response data – gathered from decision-support systems of emergency services – in emergency-response statistical modelling.

Project and methods: Building models of real phenomena is the first step in making and rationalising decisions regarding these phenomena. The statistical modelling presented in this article applies to critical-event response times for emergency services – counted from the moment the event is reported to the beginning of the rescue action by relevant services. And then, until the action is completed and services are ready for a new rescue action. The ability to estimate these time periods is essential for the rational deployment of rescue services taking into account the spatial density of (possible) critical events and the critical assessment of the readiness of these services. It also allows the assessment of the availability of emergency services, understood as the number of emergency teams which ensure operational effectiveness in the designated area.

The article presents the idea of modelling emergency response times, the methods to approximate the distribution of random variables describing the individual stages and practical applications of such approximations. Due to editorial limitations, the article includes the results only for one district (powiat – second-level unit of local government and administration in Poland).

Results: A number of solutions proposed in the article can be considered innovative, but special attention should be given to the methodology to isolate random variables included in the analysed database as single random variables. This methodology was repeatedly tested with a positive result. The study was based on data on critical events and emergency response times collected in the computerised decision-support system of the State Fire Service (PSP) in Poland.

Conclusions: Presented in this article, the method of approximating the duration of individual stages of emergency response based on theoretical distributions of random variables is largely consistent with the empirical data. It also allows to predict how the system will work in the short-term (over a time span of several years). The predictive property of such modelling can be used to optimise the deployment and to determine the capabilities of individual rescue teams. These studies were conducted between 2012 and 2015 as part of a project funded by the National Centre for Research and Development (NCBR), agreement No. DOBR/0015/R/ID1/2012/03.

Keywords: statistical modelling, data mining, emergency services, designing rescue systems

Type of article: original scientific article

Received: 11.06.2019; **Reviewed:** 21.06.2019; **Accepted:** 28.06.2019;

Authors' ORCID IDs: J. Prońko – 0000-0003-2944-9592; J. Zboina – 0000-0002-9436-5830; B. Wojtasiak – 0000-0001-5741-1079;

J. Kielin – 0000-0002-3506-5424; M. Iwańska – 0000-0003-4815-7296;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 8–31, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.1>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest zaprezentowanie możliwości wykorzystania danych historycznych dotyczących reakcji służb ratowniczych, gromadzonych w systemach wspomagania decyzji ich dysponentów, do statystycznego modelowania reakcji tych służb.

Projekt i metody: Budowanie modeli rzeczywistych zjawisk stanowi pierwszy etap podejmowania i racjonalizacji decyzji dotyczących tych zjawisk. Zjawiskiem, którego modelowanie (w ujęciu statystycznym) prezentujemy w niniejszym artykule, jest czas reakcji służb ratowniczych na zaistniałe incydenty krytyczne – liczony od momentu zgłoszenia zdarzenia do podjęcia działań ratowniczych przez odpowiednie służby, a następnie ich zakończenia oraz

odzyskania gotowości do powtórnej reakcji. Umiejętność oszacowania tych czasów jest niezbędna do racjonalnego rozmieszczenia służb ratowniczych na tle przestrzennej gęstości (możliwych) zdarzeń krytycznych oraz oceny stopnia gotowości tych służb. Pozwala ona również na oszacowanie dostępności służb ratowniczych, rozumianej jako liczba zespołów ratowniczych zapewniających skuteczność działań w wyznaczonym rejonie.

W artykule zaprezentowano ideę modelowania czasu reakcji służb ratowniczych, metody aproksymacji rozkładów zmiennych losowych opisujących poszczególne jej etapy oraz praktyczne jej wykorzystanie. Ze względu na ograniczenia edytorskie zaprezentowano wyniki analiz jedynie dla jednego powiatu.

Wyniki: Szereg proponowanych w artykule rozwiązań można zaliczyć do nowatorskich, a na szczególną uwagę zasługuje metodyka rozdzielania zmiennych losowych ujętych w analizowanej bazie jako jedna zmienna losowa. Metodykę tę przetestowano wielokrotnie z pozytywnym rezultatem.

Badania oparto na danych o zaistniałych incydentach krytycznych oraz czasach reakcji służb ratowniczych gromadzonych w systemie informatycznym wspomagania decyzji dysponentów Państwowej Straży Pożarnej w Polsce.

Wnioski: Wskazany w niniejszym artykule sposób aproksymacji czasu trwania poszczególnych etapów procesu reagowania służb ratowniczych, teoretycznymi rozkładami zmiennych losowych pozwala na przewidywanie działania tego systemu w krótkiej (kilkuletniej) perspektywie czasowej. Własność predykcyjna takiego modelowania może być wykorzystana do optymalizacji rozmieszczenia i określenia potencjału poszczególnych jednostek ratowniczych. Badania te przeprowadzono w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (nr umowy: DOBR/0015/R/ID1/2012/03 w latach 2012–2015).

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Słowa kluczowe: modelowanie statystyczne, eksploracja danych, służby ratownicze, projektowanie systemów ratowniczych

Przyjęty: 11.06.2019; **Zrecenzowany:** 21.06.2019; **Zatwierdzony:** 28.06.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: J. Prońko – 0000-0003-2944-9592, J. Zboina – 0000-0002-9436-5830; B. Wojtasiak – 0000-0001-5741-1079;

J. Kielin – 0000-0002-3506-5424; M. Iwańska – 0000-0003-4815-7296;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 8–31, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.1>;

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

Introduction

The main indicator of the effectiveness of emergency services is the time it takes them to reach the site of the incident and to commence effective rescue operations. Studies conducted as part of the project *Zaawansowane technologie teleinformatyczne wspomagające projektowanie systemu ratowniczego na poziomach: gmina, powiat, województwo* (Advanced information and communication technologies supporting the design of the rescue system on the following levels: commune, district, province¹) indicate that the recommended time of arrival of the emergency services to the scene should be no longer than:

- 12 minutes – traffic accidents;
- 13 minutes – fires;
- 20 minutes – other incidents (see [8]).

The indicated values are associated with the ability to provide effective medical care to the injured. These times can be affected by many factors, including:

- predispositions and training of people being part of the incident information flow system;
- training and readiness of the rescuers;
- technical capabilities of the equipment used by the emergency services;
- transport infrastructure of the area;
- weather conditions;

Wprowadzenie

Podstawowym wskaźnikiem oceny skuteczności działania służb ratowniczych jest czas, w jakim mogą one dotrzeć na miejsce zdarzenia i podjąć skuteczne działania ratownicze. Z badań prowadzonych w ramach projektu *Zaawansowane technologie teleinformatyczne wspomagające projektowanie systemu ratowniczego na poziomach: gmina, powiat, województwo*¹ wynika, że rekomendowany czas dotarcia służb ratowniczych na miejsce zdarzenia powinien być nie większy niż:

- 12 min – wypadki komunikacyjne;
- 13 min – pożary;
- 20 min – inne zdarzenia (zob. [8]).

Wskazane wartości związane są z możliwością udzielenia skutecznej pomocy medycznej osobom poszkodowanym. Na czas ten wpływa wiele czynników:

- predyspozycje i wykształcenie osób tworzących system przepływu informacji o zdarzeniu;
- wykształcenie i gotowość ratowników;
- możliwości techniczne sprzętu, którym dysponują służby ratownicze;
- infrastruktura komunikacyjna terenu;
- warunki pogodowe;
- pora dnia (ze względu na możliwości psychofizyczne ratowników);

¹ Project implemented by a consortium of SGSP, CNBOP-PIB, WSZiP, Asseco Poland S.A., ITTI Sp. z o.o. between 2012 and 2015. Funded by NCBR, Agreement No.: DOBR/0015/R/ID1/2012/03.

¹ Projekt realizowany przez konsorcjum: SGSP, CNBOP-PIB, WSZiP im. H. Chodkowskiej, Asseco Poland S.A., ITTI Sp. z o.o. w latach 2012–2015. Finansowany przez NCBR, nr umowy: DOBR/0015/R/ID1/2012/03.

- time of day – relevant to the psychophysical capabilities of the rescuers;
- random difficulties in reaching the scene.

Therefore, a question arises: Is it possible to mathematically describe the response time of the emergency services?

Information systems are commonly used to transfer, process and store information. They facilitate the collection of extensive and highly detailed information. Moreover, they can be used for various types of analyses, as well as to support decision-making processes by providing selected data needed by decision-makers.

Data collected in these systems and advanced computer applications allow highly detailed and targeted analyses. These data and applications have been used to describe emergency response times. The studies described in this article were conducted as part of the aforementioned project funded by NCBiR. Data used in these studies was collected in the Decision Support System for Management Positions of PSP (State Fire Brigade), the FireBird SWD-ST 2.5 version.

The aim of this study was to develop a statistical model describing emergency response times and its applicability in:

- estimating the operational responsibility area of individual rescue teams;
- designing an indicator of rescue-team readiness to act;
- assessing the number of rescue teams which ensure operational effectiveness in the designated area – in this case, the critical-event emergence process must be additionally described.

This model can be used for analyses that are based on the following methods:

- classical – mathematical analysis;
- Monte Carlo – time simulation of individual emergency-response stages according to the predefined theoretical distributions of random variables;
- methods using neural networks to generate individual times based on historical data.

The reliability of this model is based on two hypotheses we will try to prove, at least partially, in this article:

- empirical distributions of the duration of individual reaction phases can be reasonably approximated using theoretical distributions of random variables;
- parameters and shapes of the distributions which describe individual emergency-response phases are constant, at least at intervals of several years.

The article is divided into four main parts:

- the concept underlying the model – describing the main assumptions of the model and method of its application to estimate: the operational responsibility area, the rescue-team readiness indicator and the availability of emergency services;
- data source – describing the basic parameters of the database used during the study;
- modelling split times – describing the methods of approximating empirical distributions (historical data)

- pojawiające się przypadkowo zakłócenia w dotarciu na miejsce zdarzenia.

Pojawia się zatem pytanie, czy czas reakcji służb ratowniczych można w wiarygodny sposób opisać matematycznie?

Do przekazywania, przetwarzania i gromadzenia informacji powszechnie wykorzystuje się systemy informatyczne. Pozwalają one na gromadzenie znacznych ilości bardzo szczegółowych informacji. Można je wykorzystywać do różnego typu analiz, a także do wspomagania procesów decyzyjnych poprzez dostarczanie wyselekcjonowanych danych niezbędnych decydentowi.

Dane zgromadzone we wspomnianych systemach oraz zaawansowane aplikacje komputerowe umożliwiają prowadzenie bardzo szczegółowych i ukierunkowanych analiz. Narzędzi tych użyto do opisu czasu reakcji służb ratowniczych. Badania takie przeprowadzono w ramach projektu finansowanego przez NCBiR. Wykorzystano w nich dane gromadzone w Systemie Wspomagania Decyzji dla Stanowisk Kierowania PSP w wersji FireBird SWD-ST 2,5.

Celem badań było skonstruowanie statystycznego modelu opisującego czas reagowania służb ratowniczych oraz jego zastosowanie do:

- szacowania rejonu odpowiedzialności operacyjnej poszczególnych jednostek ratowniczych;
- konstrukcji wskaźnika gotowości operacyjnej zespołów ratowniczych;
- oceny liczby zespołów ratowniczych zapewniających skuteczność działań w wyznaczonym rejonie (w tym przypadku wymagany jest dodatkowo opis procesu pojawiania się zdarzeń krytycznych).

Model ten można wykorzystać do analiz prowadzonych metodami:

- klasycznymi – analiza matematyczna;
- Monte Carlo – symulacji czasu poszczególnych etapów reakcji służb ratowniczych według zadanych teoretycznych rozkładów zmiennych losowych;
- wykorzystującymi sieci neuronowe do generacji poszczególnych czasów na podstawie danych historycznych.

Wiarygodność modelu opiera się na dwóch hipotezach, które – przynajmniej częściowo – autorzy postarają się udowodnić w niniejszym artykule:

- empiryczne rozkłady czasu trwania poszczególnych etapów reakcji mogą być wiarygodnie aproksymowane teoretycznymi rozkładami zmiennych losowych;
- parametry i kształt rozkładów opisujących czas trwania poszczególnych etapów reakcji służb ratowniczych są stałe, przynajmniej w kilkuletnich przedziałach czasowych.

Artykuł podzielono na cztery zasadnicze części:

- idea modelu – zaprezentowano w niej główne założenia modelu oraz sposób jego wykorzystania do szacowania: rejonu odpowiedzialności operacyjnej, wskaźnika gotowości zespołów ratowniczych oraz dostępności służb ratowniczych;
- źródło danych – przedstawiono w nim podstawowe parametry bazy danych, z której korzystano podczas badań;

based on theoretical distributions, including an attempt to prove the hypotheses formulated above;

- model test – the correctness of calculations based on this model were checked with empirical data on defining areas of rescue-team operational responsibility.

- modelowanie czasów cząstkowych – opisano w nim sposoby aproksymacji rozkładów empirycznych (dane historyczne) rozkładami teoretycznymi oraz starano się udowodnić sformułowane powyżej hipotezy;
- test modelu – sprawdzono poprawność obliczeń wykonanych z wykorzystaniem tego modelu z danymi empirycznymi w zakresie określania obszarów operacyjnej odpowiedzialności jednostek ratowniczych.

The concept underlying the model

The emergency response process encompasses several key events:

- the dispatcher receives notification of an event (A);
- the rescue team is assigned the task (B);
- the rescue teams leave for the scene (C);
- the rescue team reaches the scene and starts rescue operations (D);
- the rescue team ends its operations (E);
- the rescue team returns to the stationing site (F).

All the times between individual events are independent random variables. The main problem, therefore, is to reliably approximate the distributions of these random variables based on theoretical distributions. These distributions can be used for further analytical calculations or when employing the Monte Carlo method.

Suppose that we made such an approximation and we know the distributions describing the duration of the various emergency response phases:

- $P(t_{AB})$ – the distribution of the random variable describing the dispatcher response time – the time from receiving notification to the moment of dispatching the first rescue team;
- $P(t_{BC})$ – the distribution of the random variable describing the time taken by the rescue team to prepare for departure;
- $P(t_{DE})$ – the distribution of the random variable describing the rescue operation times.

The distribution of the random variable describing the rescue team's travel time to the scene (t_{cd}) and its return time after the rescue operation (t_{ef}) depend on the distance to the scene (l). The random variable describing this time can be expressed as either the quotient of the distance and the random variable describing the travel speed, or the product of the distance and the random variable describing the time taken to cover one kilometre. The latter solution seems to be more practical for further calculations because it is much easier to add distributions of random variables than to multiply or divide them. Thus, the distribution of the random variable describing travel time to the scene can be described as follows:

$$P(t_{CD}) = l \cdot \frac{1}{P(v)} = l \cdot P(t_{1km}) \quad (1)$$

Hence, for a complete description of emergency response times, it is necessary to determine the distribution describing the time taken by emergency services to cover one kilometre.

Idea modelu

Analiza procesu reakcji służb ratowniczych pozwala wyodrębnić w nim kilka kluczowych zdarzeń:

- przyjęcie zgłoszenia przez dyspozytora (A);
- postawienie zadania zespołom ratowniczym (B);
- wyjazd zespołu ratowniczego do miejsca zdarzenia (C);
- dotarcie zespołu ratowniczego na miejsce zdarzenia i rozpoczęcie czynności ratowniczych (D);
- zakończenie działań ratowniczych (E);
- powrót zespołu ratowniczego do miejsca stacjonowania (F).

Czasy upływające pomiędzy wskazanymi zdarzeniami są niezależnymi zmiennymi losowymi. Głównym zatem problemem jest wiarygodna aproksymacja rozkładów tych zmiennych losowych rozkładami teoretycznymi, które będzie można wykorzystać do dalszych obliczeń analitycznych lub z zastosowaniem metody Monte Carlo.

Założmy, że dokonaliśmy takiej aproksymacji i znane nam są rozkłady opisujące czas trwania poszczególnych etapów reakcji służb ratowniczych:

- $P(t_{AB})$ – rozkład zmiennej losowej opisującej czas reakcji dyspozytora (czas upływający od przyjęcia zgłoszenia do zadysponowania pierwszego zespołu ratowniczego);
- $P(t_{BC})$ – rozkład zmiennej losowej opisującej czas przygotowania zespołu ratowniczego do wyjazdu;
- $P(t_{DE})$ – rozkład zmiennej losowej opisującej czas trwania działań ratowniczych.

Rozkład zmiennej losowej opisującej czas przejazdu zespołu ratowniczego do miejsca zdarzenia (t_{cd}) oraz jego powrotu po zakończeniu działań ratowniczych (t_{ef}) zależy od odległości do miejsca zdarzenia (l). Zmienną losową opisującą ten czas możemy wyrazić za pomocą ilorazu odległości i zmiennej losowej opisującej prędkość przejazdu lub iloczynu odległości i zmiennej losowej opisującej czas pokonania jednego kilometra. Ten drugi sposób wydaje się bardziej praktyczny z punktu widzenia dalszych obliczeń – znacznie łatwiej jest sumować rozkłady zmiennych losowych niż je mnożyć lub dzielić. Uwzględniając powyższe, rozkład zmiennej losowej opisującej czas przejazdu na miejsce zdarzenia możemy zobrazować następująco:

$$P(t_{CD}) = l \cdot \frac{1}{P(v)} = l \cdot P(t_{1km}) \quad (1)$$

Dlatego też do pełnego opisu czasu reakcji służb ratowniczych niezbędne jest określenie rozkładu opisującego czas pokonania jednego kilometra przez służby ratownicze.

Thus, the distribution of the random variable describing the response time of the rescue system, counted from the moment of receiving notification to the moment in which the first rescue team arrives at the scene, can be described as the sum of random variable distributions:

$$P(t_{AD}) = P(t_{AB}) + P(t_{BC}) + l \cdot P(t_{1km}) = P(t_{AD}|l) \quad (2)$$

It follows from the formula above that the distribution of the random variable t_{AD} depends on the distance (l) which the rescue teams need to cover. It means that the distribution is conditioned by the distance.

The size of the operational responsibility area is defined by calculating the distance from the boundary of this area (L) to the headquarters of the rescue teams. We assume that the time taken by the rescue team to reach the boundary of the operational responsibility (L) area should be no longer than T^2 at a pre-defined confidence level (β) for the obtained result. This can be expressed as follows³:

$$P\{t_{AD} \leq T|L\} = \beta \quad (3)$$

The confidence level (β) should be interpreted as the probability that the rescue team covers the distance L within the specified time T . Analyses and regulations concerning State Medical Rescue Services (PRM) [6] indicate that the confidence level β should be 0.8.

Therefore, using the relationship (3), we can determine the distance of the boundary of the operational responsibility area from the headquarters of the rescue teams. However, the use of analytical methods can be quite confusing, especially if the distributions of split times – formula (2) – will be different. In such a case it is much better to apply the Monte Carlo method. In both cases, however, it is necessary to approximate empirical distributions based on theoretical distributions, creating additional uncertainty about the value of the obtained result. To avoid approximation, it would be reasonable to use neural networks that can be trained to generate variables based on historical data. This solution also involves certain errors, but their magnitude can be largely defined during the neural-network training process.

An important element of a successful rescue system is the time taken by the team to prepare for departure. Some rescue teams (State Fire Service – PSP) are permanently on call. The time from when they receive the dispatch instructions to when they leave is fairly short. The preparation times are almost the same across the country due to uniform training methods. However, rescue operations also involve volunteer fire-fighter teams (OSP), where rescuers are not on call at the headquarters twenty-four hours every day. What they do is only declare the time in which they can arrive to the station from when they register alarm. Some of these teams, because of their importance for the fire protection system, are financed from the state

A zatem rozkład zmiennej losowej opisującej czas reakcji systemu ratowniczego, liczony od przyjęcia zgłoszenia do dotarcia pierwszego zespołu ratowniczego na miejsce zdarzenia, możemy określić jako sumę rozkładów zmiennych losowych:

$$P(t_{AD}) = P(t_{AB}) + P(t_{BC}) + l \cdot P(t_{1km}) = P(t_{AD}|l) \quad (2)$$

Jak wynika z powyższego wzoru rozkład zmiennej losowej t_{AD} jest zależny od odległości (l), na jaką powinien dotrzeć zespół ratowniczy – jest przez nią warunkowany.

Wielkość rejonu odpowiedzialności operacyjnej określamy poprzez wskazanie odległości granicy tego rejonu (L) od siedziby danej grupy zespołów ratowniczych. Zakładamy przy tym, że czas dotarcia zespołu ratowniczego do granicy rejonu odpowiedzialności operacyjnej (L) powinien być nie dłuższy niż T^2 przy przyjętym poziomie ufności (β) dla otrzymanego wyniku, co możemy zapisać³:

$$P\{t_{AD} \leq T|L\} = \beta \quad (3)$$

Poziom ufności (β) należy interpretować jako prawdopodobieństwo, że zespół ratowniczy dotrze na odległość L nie później niż w zadanym czasie T . Z prowadzonych analiz i przepisów prawa dotyczących Państwowego Ratownictwa Medycznego (PRM) [6] wynika, że poziom ufności β powinien wynosić 0,8.

Korzystając zatem z zależności (3), możemy wyznaczyć odległość granicy rejonu odpowiedzialności operacyjnej od siedziby zespołów ratowniczych. Jednakże wykorzystanie metod analitycznych może być dość kłopotliwe zwłaszcza, jeżeli rozkłady czasów cząstkowych – wzór (2) – będą różne. Wówczas znacznie lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie metody Monte Carlo. W obu jednak przypadkach wymagana jest aproksymacja rozkładów empirycznych rozkładami teoretycznymi, wprowadzająca dodatkową niepewność co do wartości otrzymanego wyniku. Aby uniknąć aproksymacji, należałoby zastosować sieci neuronowe, które można nauczyć generowania zmiennych na podstawie danych historycznych. Rozwiązanie to również wprowadza pewne błędy, jednakże w trakcie uczenia sieci neuronowych możemy – w znacznym stopniu – definiować ich wielkość.

Istotnym elementem wpływającym na skuteczność systemu ratowniczego jest czas przygotowania zespołu do wyjazdu. Część zespołów ratowniczych (Państwowa Straż Pożarna – PSP) znajduje się w stałej gotowości do wyjazdu. Czas upływający od ich zadysponowania do wyjazdu jest niewielki, a ze względu na sposoby szkolenia niemal jednolity dla całego kraju. Jednakże w działaniach ratowniczych biorą również udział jednostki ochotniczej straży pożarnej (OSP), w których ratownicy nie pełnią całonocnych dyżurów w siedzibie jednostki. Deklarują oni jedynie możliwość dotarcia do siedziby jednostki w określonym czasie od ogłoszenia alarmu. Część tych jednostek – ze względu na ich znaczenie dla systemu ochrony przeciwpożaro-

² Recommended time T should be 13 minutes for a fire, 12 minutes for traffic events and 15 minutes for other critical events. See introduction.

³ This means the distribution function of the random variable.

² Zalecany czas T powinien wynosić 13 min dla pożarów oraz 12 min dla zdarzeń komunikacyjnych oraz 15 min dla innych zdarzeń krytycznych. Zob. wprowadzenie.

³ This means the distribution function of the random variable.

budget. It is important to select the teams which will best meet the expectations. One of such expectations is, of course, the degree of readiness to act. Using the specified formula [2], it can be concluded that the size of the operational responsibility area largely depends largely on the readiness to act of the rescue teams – it is defined by the amount of time between team dispatch and team departure from the headquarters (t_{bc}), and depends on whether a complete rescue team can be organised. If, at the time of making the decision, the dispatcher has knowledge about the readiness of individual rescue teams (indicator of readiness to act – W_p), his/her decisions will be more rational. This should help rescue services to operate more effectively and arrive faster at the scene.

The indicator of readiness to act (W_t – the time needed to organise a complete rescue team, defined with a predefined confidence level) can be estimated based on historical data, provided that it is extensive enough for statistical analysis. However, very often, especially in the case of OSP teams, such data is too scarce. Therefore, we propose that rescuers in each such team determine the most likely time to reach the headquarters in case of alarm. Since such times are measured sporadically (which results in scarcity of historical data), we can assume, *a priori*, that the arrival time of each rescuer is described using exponential distribution, with a confidence level (p) for the declared time. Based on these assumptions, we can designate the only parameter of this distribution λ – the inverse of the scale parameter.

$$1 - e^{-\lambda t} = p \rightarrow \lambda = -\frac{\ln(1-p)}{t} \quad (4)$$

where:

λ – exponential distribution (inverse of the scale);

t – time declared by the rescuer to reach the OSP headquarters;

p – confidence level of time to reach the OSP headquarters as declared by the rescuer; the most reliable value is 0.9 – in terms of frequency, it means that in 90% of cases the rescuer reaches OSP headquarters within the time declared by him/her from the alarm.

The parameter λ should be determined individually for each rescuer. The composition of the rescue team depends on the type of vehicle at the disposal of the OSP team. The time in which the team will be ready to leave depends on when the last team member arrives. Hence, the probability of organising a complete team in time T is equal to the probability of the arrival of the last team member to the OSP headquarters:

$$W_T = P(t \leq T) = \min\{P_1(t \leq T); P_2(t \leq T); \dots; P_i(t \leq T); \dots P_n(t \leq T)\} \quad (5)$$

where:

$P_i(t \leq T) = 1 - e^{-\lambda_i \cdot T}$ – probability of arrival of the i -last team member to the OSP headquarters;

n – number of team members;

T – the expected time taken by the team to prepare for departure.

wej – jest dofinansowana z budżetu państwa. Ważną kwestią jest wybór takich jednostek, które najlepiej spełnią oczekiwania. Jednym z nich jest oczywiście stopień gotowości do podjęcia działań ratowniczych. Wykorzystując wskazany schemat (2), możemy stwierdzić, że wielkość rejonu odpowiedzialności operacyjnej zależy w dużej mierze od gotowości zespołu ratowniczego do podjęcia działań – definiuje ją czas upływający od zadysponowania danej jednostki do chwili jej wyjazdu z siedziby (t_{bc}). Zależy on od możliwości skompletowania zespołu ratowniczego. Jeżeli w chwili podejmowania decyzji dyspozytor będzie posiadał wiedzę na temat gotowości poszczególnych zespołów ratowniczych (wskaźnik gotowości do działania – W_p), jego decyzje będą bardziej racjonalne. Powinno się to przyczynić do większej skuteczności działania służb ratowniczych – szybszego ich dotarcia na miejsce zdarzenia.

Wskaźnik gotowości do działania (W_t – czas skompletowania zespołu ratowniczego określony z zadaniem poziomem ufności) możemy oszacować na podstawie danych historycznych pod warunkiem, że ich ilość będzie odpowiednia do analiz statystycznych. Jednakże bardzo często – szczególnie w przypadku dysponowania jednostek OSP – tych danych jest zbyt mało. Dlatego proponujemy, aby ratownicy każdej takiej jednostki określili najbardziej prawdopodobny czas dotarcia do jej siedziby w przypadku ogłoszenia alarmu. Ze względu na sporadyczność sprawdzania tego czasu (małą ilość danych historycznych) możemy przyjąć *a priori*, że czas dotarcia poszczególnych ratowników jest opisany rozkładem wykładniczym, przyjmując jednocześnie poziom ufności (p) dla deklarowanego czasu. Poczynione założenia pozwalają wyznaczyć jedyny parametr tego rozkładu λ – odwrotność parametru skali.

$$1 - e^{-\lambda t} = p \rightarrow \lambda = -\frac{\ln(1-p)}{t} \quad (4)$$

gdzie:

λ – parametr rozkładu wykładniczego (odwrotność skali);

t – deklarowany przez ratownika czas dotarcia do siedziby OSP;

p – poziom ufności dla deklarowanego przez ratownika czasu dotarcia do siedziby OSP; najbardziej wiarygodna jego wartość to 0,9 – w ujęciu częstościowym oznacza, że w 90% przypadków ratownik dotrze do siedziby OSP nie później niż w deklarowanym przez siebie czasie od chwili ogłoszenia alarmu.

Parametr λ należy wyznaczyć dla każdego ratownika indywidualnie. Skład zespołu ratowniczego uzależniony jest od rodzaju pojazdu, jakim dysponuje dana jednostka OSP. Czas, w jakim jego załoga będzie gotowa do wyjazdu, zależy od czasu przybycia ostatniego jej członka. Stąd też prawdopodobieństwo skompletowania załogi w czasie T jest równe prawdopodobieństwu przybycia do siedziby OSP ostatniego z członków danego zespołu:

$$W_T = P(t \leq T) = \min\{P_1(t \leq T); P_2(t \leq T); \dots; P_i(t \leq T); \dots P_n(t \leq T)\} \quad (5)$$

When a given OSP team has the ability to dispatch several rescue teams (it has several fire engines), there will be a few readiness indicators, calculated for each team individually.

The readiness indicator [2] $W_T = P(t \leq T)$ can be standardised, defining the obligatory value of T . Based on the study results, the best option is to define the time T at 5 minutes. If the longest time declared by the members of the rescue team is 5 minutes, the readiness indicator $P(t \leq T)$ will be 0.9, and the team will be able to respond to events which are 3 km away from the OSP headquarters with a 90% efficiency⁴. The efficiency will increase as the distance decreases. Table 1 presents more detailed sizes of operational responsibility areas depending on the rescue-team readiness indicator.

gdzie:

$P_i(t \leq T) = 1 - e^{-\lambda_i T}$ – prawdopodobieństwo dotarcia i -tego członka załogi do siedziby OSP;

n – liczba członków załogi;

T – oczekiwany czas gotowości zespołu do wyjazdu.

W przypadku, gdy dana jednostka OSP posiada zdolność do wystawienia kilku zespołów ratowniczych (dysponuje kilkoma pojazdami pożarniczymi), wskaźników gotowości będzie kilka, liczonych dla każdego zespołu indywidualnie.

Wskaźnik gotowości [2] $W_T = P(t \leq T)$ można zestandaryzować, przyjmując obligatoryjnie wartość T . Opierając się na wynikach badań, najlepszym rozwiązaniem jest przyjęcie czasu T na poziomie 5 min. Jeżeli najdłuższy zadeklarowany przez członków zespołu ratowniczego czas wyniesie 5 min, to wówczas wskaźnik gotowości $P(t \leq T)$ osiągnie wartość 0,9, a zespół ten będzie zdolny do reagowania na zdarzenia odległe o 3 km od siedziby OSP z 90% skutecznością⁴. Będzie ona rosła wraz ze zmniejszaniem się tej odległości. Bardziej szczegółową wielkość obszarów odpowiedzialności operacyjnej w zależności od wskaźnika gotowości zespołów ratowniczych przedstawiono w tabeli 1.

Table 1. The operational responsibility area of OSP teams depending on the standardised indicator of personnel readiness and the confidence level for the obtained result

Tabela 1. Obszar odpowiedzialności operacyjnej Jednostki OSP w zależności od standaryzowanego wskaźnika gotowości zasobów osobowych oraz poziomu ufności dla otrzymanego wyniku

Standardised indicator of personnel readiness (in brackets – the longest time of arrival declared by a team member)	Size of operational responsibility area (L) at a confidence level of 0.9 [km]	Size of operational responsibility area (L) at a confidence level of 0.8 [km]
Standaryzowany wskaźnik gotowości zasobów osobowych (w nawiasie najdłuższy czas przybycia deklarowany przez członka zespołu)	Wielkość obszaru odpowiedzialności operacyjnej (L) przy poziomie ufności 0,9 [km]	Wielkość obszaru odpowiedzialności operacyjnej (L) przy poziomie ufności 0,8 [km]
0.9 (5 min)	3	3.5
0.85 (6 min)	2.5	3.16
0.8 (7 min)	2	2.75
0.76 (8 min)	1.3	2.3
0.7 (9 min)	0.5	1.8

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Another problem, as mentioned in the introduction, is the number of rescue teams required to make an effective response within the operational responsibility area of the fire protection team. Underlying this problem can be the following question: What is the probability of another call being made when all rescue teams are conducting rescue operations? To solve this problem, we need to know the process describing the emergence of additional events in the operational responsibility area of the rescue team. Since such events occur sporadically, it can be assumed that the waiting time for the next event is described

Kolejnym problemem, zasygnalizowanym we wprowadzeniu, jest niezbędna liczba zespołów ratowniczych zapewniająca skuteczną reakcję dla obszaru odpowiedzialności operacyjnej wskazanej jednostki ochrony przeciwpożarowej. Zagadnienie to możemy sprowadzić do pytania: jakie jest prawdopodobieństwo pojawienia się kolejnego zgłoszenia w trakcie prowadzenia działań ratowniczych przez wszystkie zespoły ratownicze? Rozwiązanie tego problemu wymaga znajomości procesu opisującego pojawianie się kolejnych zdarzeń na obszarze odpowiedzialności operacyjnej danej jednostki ratowniczej. Ze względu na sporadyczność takich zdarzeń można przyjąć, że czas oczekiwania na

⁴ Data comes from research conducted as part of the project mentioned earlier.

⁴ Dane te pochodzą z badań prowadzonych w ramach wspomnianego projektu.

by exponential distribution⁵. The basic parameter of this distribution is the expected number of events per unit of time (μ). Suppose that we know the expected number of events per unit of time in the operational responsibility area, and we know the distribution describing the rescue operation times – from when the dispatcher receives the call to when the rescue team returns to the headquarters. It can be determined using the following equation:

$$P(t_{AF}) = P(t_{AB}) + P(t_{BC}) + P(t_{DE}) + 2 \cdot l \cdot P(t_{1km}) \quad (6)$$

The rescue operation time (t_{AF}) can be determined from the distribution function $P(t_{AF})$, at a confidence level γ for the obtained result:

$$P\{t_{AF} \leq t_r\} = \gamma \quad (7)$$

From the above formula, we calculate the value of t_r and then we determine the probability of at least one event occurring at this time using the equation:

$$p = P\{k > 0\} = 1 - e^{-\mu \cdot t_r} \quad (8)$$

If probability p is at an acceptable level, it can be assumed that the number of rescue teams in the operational responsibility area is sufficient. The presented calculations refer to a situation where in a particular area there is only one rescue team. The aim was to indicate the idea of such calculations. However, to assess their availability the classification of critical events should be made due to the number of rescue teams involved in rescue operations. After making such a classification and estimating parameter μ for each class of events, estimating availability of a larger number of rescue teams operating in their operational responsibility area does not cause undue difficulties.

The above concept of describing emergency response times and its general applicability was verified as part of studies based on the example of historical data from several districts located in different Polish provinces. We used data concerning the operations of one of the emergency services – the State Fire Service. The main problem that was solved in the course of our studies was to provide a stochastic description of the durations of individual stages of emergency response to events, and to validate this description.

Source of data

During our studies, we used the accessible part of the SWD-ST 2.5 system database. It is an integrated system designed to use information from various databases to support the work of

kolejne zdarzenie opisany jest rozkładem wykładniczym⁵. Podstawowym parametrem tego rozkładu jest oczekiwana liczba zdarzeń w jednostce czasu (μ). Załóżmy, że znamy oczekiwaną liczbę zdarzeń w jednostce czasu na danym obszarze odpowiedzialności operacyjnej oraz znamy rozkład opisujący czas prowadzenia działań ratowniczych – od chwili przyjęcia zgłoszenia przez dyspozytora do czasu powrotu jednostki ratowniczej do siedziby. Możemy go wyznaczyć z zależności:

Czas prowadzenia działań ratowniczych (t_{AF}) możemy wyznaczyć z dystrybucji rozkładu $P(t_{AF})$, przyjmując poziom ufności γ dla otrzymanego wyniku:

$$P\{t_{AF} \leq t_r\} = \gamma \quad (7)$$

Za pomocą powyższego wzoru obliczamy wartość t_r , a następnie wyznaczamy prawdopodobieństwo pojawienia się przynajmniej jednego zdarzenia w tym czasie z zależności:

$$p = P\{k > 0\} = 1 - e^{-\mu \cdot t_r} \quad (8)$$

Jeżeli prawdopodobieństwo p sytuuje się na akceptowalnym poziomie, można przyjąć, że liczba zespołów ratowniczych w danym rejonie odpowiedzialności operacyjnej jest wystarczająca. Wskazane obliczenia odnoszą się do sytuacji, gdy w danym obszarze działa tylko jeden zespół ratowniczy. Chodziło o wskazanie idei takich obliczeń. Większa liczba zespołów ratowniczych nie stanowi problemu, jednakże do oceny ich dostępności należy dokonać klasyfikacji zdarzeń krytycznych ze względu na liczbę zaangażowanych w działania ratownicze zespołów. Po dokonaniu takiej klasyfikacji oraz obliczeniu parametru μ dla każdej klasy zdarzeń, oszacowanie dostępności dla większej liczby zespołów ratowniczych działających w danym rejonie operacyjnej odpowiedzialności nie nastręcza zbytnich trudności.

Wskazana powyżej idea opisu czasu reakcji służb ratowniczych wraz z zasadniczymi możliwościami jej wykorzystania została sprawdzona w ramach prowadzonych badań na przykładzie danych historycznych pochodzących z kilku powiatów znajdujących się w różnych województwach. Korzystano z danych dotyczących działania jednej ze służb ratowniczych – Państwowej Straży Pożarnej. Zasadniczym problemem, który rozwiązywano w trakcie badań, jest opis stochastyczny czasów trwania poszczególnych etapów procesu reagowania służb ratowniczych na zaistniałe zdarzenia oraz uzasadnienie wiarygodności tego opisu.

Źródło danych

W trakcie badań korzystano z udostępnionej części bazy systemu SWD-ST 2.5. Stanowi on zintegrowany system informacyjny, którego celem jest wykorzystanie informacji zawartych

⁵ This hypothesis has been proven in the course of studies conducted as part of this project. It has been shown that the emergence of events is, in the long term, a stationary exponential process. See [3].

⁵ Hipoteza ta została udowodniona w trakcie badań prowadzonych w ramach wspomnianego projektu. Wykazano w nich, że proces pojawiania się zdarzeń jest stacjonarnym, w perspektywie kilku lat, procesem wykładniczym. Zob. [3].

the State Fire Service on all administrative levels. It also facilitates automated exchange of information between various headquarters and possibly other services. A detailed description of the system's functionalities and the scope of data collected and processed using it includes: *SWD-ST 2.5 System User Guide*, released by Akabus Systemy Teleinformatyczne Sp. z o.o. in 2013.

Each critical incident is recorded in this system in terms of: space, time, deployed manpower and resources, consequences for life and health of the victims and rescuers, nature and causes of the events. This system allows to receive calls in real-time and handle events by organising personnel and resources of the State Fire Service and Volunteer Fire Brigades operating under the National Fire and Rescue (KSRG) and beyond.

In spatial, the system includes: WGS 84 event location coordinates; event address – commune, town/city/village, street and number of kilometres covered by the rescue team. Categories of events are recorded by: type (fire, local hazards) and severity (minor, moderate, major). Additionally, a description is provided of the underlying causes. Time-related data that are collected include: time of identification, location and elimination of the event, as well as the time taken to dispatch a rescue team and the time it takes to arrive at the scene and return to the station. Time data is given accurate to one minute. In terms of deployed manpower and resources, data include deployed manpower and resources, taking into account the type of equipment. The User Guide mentioned above includes a detailed list of data stored in the system.

w bazach danych do wspomagania pracy Państwowej Straży Pożarnej na wszystkich poziomach administracyjnych. Pozwala on również na automatyczną wymianę informacji między poszczególnymi Komendami i ewentualnie innymi służbami. Szczegółowy opis funkcjonalności oraz zakresu gromadzonych i przetwarzanych danych tego systemu zawiera: *Podręcznik użytkownika Systemu SWD-ST 2.5*, wydany przez Akabus Systemy Teleinformatyczne Sp. z o.o. 2013.

W systemie tym rejestrowane są poszczególne incydenty krytyczne w zakresie: przestrzennym, czasowym, użytych sił i środków, skutków dla życia i zdrowia ofiar zdarzenia oraz ratowników, rodzaju i przyczyn zdarzenia. Narzędzie pozwala w czasie rzeczywistym przyjmować zgłoszenia oraz obsługiwać zdarzenia w zakresie dysponowania sił i środków Państwowej Straży Pożarnej oraz Ochotniczych Straży Pożarnych funkcjonujących w ramach KSRG i poza nim.

W zakresie przestrzennym ujmuje się w nim: współrzędne geograficzne miejsca zdarzenia w układzie WGS 84; adres zdarzenia – gmina, miejscowość, ulica oraz liczba kilometrów przebytych przez jednostkę. Kategorie zdarzeń uwzględnia się w postaci: rodzaju (pożar, zagrożenia miejscowe); wielkości (małe, średnie, duże), uzupełnieniem tych informacji są wskazane opisowo przyczyny zdarzenia. W obszarze czasowym gromadzi się następujące dane: czas zauważenia, lokalizacji i usunięcia zdarzenia oraz czas zadysponowania jednostki ratowniczej, dotarcia jej do miejsca zdarzenia i powrotu ostatniej jednostki. Dane czasowe podawane są z dokładnością do jednej minuty. W zakresie użytych sił i środków podawane są zadysponowane siły i środki z uwzględnieniem rodzaju sprzętu. Szczegółowy wykaz danych gromadzonych w systemie zawiera wspomniany powyżej *Podręcznik użytkownika*.

Approximation of response times based on empirical data

Empirical distributions can be directly obtained from data included in the SWD-ST 2.5 database for the following random variables:

- dispatcher response time – t_{AB} ;
- rescue operation time – t_{DE} .

Time distributions of preparation for departure (t_{BC}) and covering the distance of 1 km (t_{1km}) can be obtained by indirect methods, because the database contains only the total time from rescue-team dispatch to arrival at the scene.

Due to editorial constraints, this article presents data on the operations of PSP in just one district in the years 2006–2011. However, as mentioned above, our studies included several districts. Their results are consistent with those presented in this article.

Distributions describing the times taken by individual emergency response stages can be approximated in several ways, including:

- by assuming, *a priori*, the shape of probability distribution for each variable and estimating its parameters based on empirical data or expert assessment;
- by choosing the shape and parameters of the distribution of a random variable based on empirical data.

Aproksymacja czasów reakcji na podstawie danych empirycznych

Z danych ujętych w bazie SWD-ST 2,5 można pozyskać bezpośrednio rozkłady empiryczne następujących zmiennych losowych:

- czas reakcji dyspozytora – t_{AB} ;
- czas prowadzenia działań ratowniczych – t_{DE} .

Natomiast rozkłady czasu: przygotowania do wyjazdu (t_{BC}) oraz pokonania 1 km (t_{1km}) można uzyskać metodami pośrednimi, ponieważ w bazie zapisany jest jedynie łączny czas liczony od zadysponowania zespołu ratowniczego do jego dotarcia na miejsce zdarzenia.

W artykule przedstawiono dane dotyczące działania PSP na terenie jednego tylko powiatu w latach 2006–2011 ze względu na ograniczenia redakcyjne. Jednakże w badaniach, jak już wspomniano, uwzględniono kilka powiatów. Ich wyniki są zgodne z prezentowanymi w niniejszym artykule.

Aproksymacji rozkładów opisujących czas poszczególnych etapów procesu reagowania zespołów ratowniczych można dokonać kilkoma metodami:

- zakładając *a priori* kształt rozkładu prawdopodobieństwa dla danej zmiennej i szacując jego parametry na podstawie danych empirycznych lub oceny ekspertów;
- dobierając kształt i parametry rozkładu zmiennej losowej na podstawie danych empirycznych.

The second method is inherently more accurate and more obvious. However, it requires reliable and adequate data. What is more, most empirical distributions are significantly different from theoretical distributions in terms of shape. Hence, their approximation creates an area of uncertainty for the formulated conclusions. A similar area of uncertainty occurs in the first method of approximation. The shape of approximating distributions is usually selected based on the characteristics of the phenomena investigated. And its parameters are selected based on empirical data, if adequate data is available, or based on expert assessment.

The time taken by individual emergency response stages depends on many random factors. It appears, then, that normal distribution is the most suitable for their approximation, also due to its properties. The density of probability for this distribution can be expressed in the following manner (see [7]):

$$\phi(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (9)$$

If we have less data or use only expert opinions, its parameters can be estimated using PERT (*program evaluation and review technique*). According to this method, distributions with the random-variable parameters of: minimum value (t_o), maximum value (t_m) and mode (t_d) can be essentially approximated by normal distribution with the following parameters (see [5]):

$$\begin{aligned} - \text{expected value: } \mu &= \frac{t_o + 4 \cdot t_d + t_m}{6}; \\ - \text{standard deviation: } \sigma &= \frac{t_m - t_o}{6}. \end{aligned}$$

Another distribution that can be taken into account is a log-normal distribution. It provides a much better description of how long it takes to perform individual operations. As such, it is probably a more useful measure to describe dispatcher response and team preparation times. A log-normal distribution is a normal distribution of a random-variable logarithm, whose density of probability is given by (see [1]):

$$\phi(\ln x|\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad [10]$$

In the calculations presented below, we used data based on the second of the discussed approximation methods.

Response time of the dispatcher

When collecting data for the analysis of dispatcher response times, we took into account all the events that happened in the studied district in the years 2006–2011. The dispatcher response time is accurate to 1 minute. It should be kept in mind, then, that a response time of 2 means that the actual response time was more than, or equal to, 2 minutes and less than 3 minutes. Because of the method of recording data in the source

Drugi sposób jest ze swej natury dokładniejszy i bardziej oczywisty, jednakże wymaga on rzetelnych danych w dostatecznej ilości. Ponadto większość rozkładów empirycznych znacznie odbiega kształtem od rozkładów teoretycznych. Stąd też ich aproksymacja generuje pewien obszar niepewności dla formułowanych wniosków. Podobny obszar niepewności uzyskujemy przy pierwszym sposobie aproksymacji. Kształt rozkładów aproksymujących dobieramy zazwyczaj na podstawie cech charakteryzujących zjawiska, natomiast jego parametry – na podstawie danych empirycznych, jeżeli posiadamy je w odpowiedniej ilości lub na podstawie oceny ekspertów.

Czas trwania poszczególnych etapów reakcji służb ratowniczych zależy od bardzo wielu przypadkowych czynników. Wydaje się zatem, że do ich aproksymacji najlepiej nadaje się rozkład normalny, również ze względu na posiadane własności. Gęstość prawdopodobieństwa dla tego rozkładu opisana jest wzorem (zob. [7]):

$$\phi(x|\mu, \sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (9)$$

Jeżeli posiadamy mniejszą ilość danych lub korzystamy jedynie z opinii ekspertów, jego parametry możemy oszacować wykorzystując metodę PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Zgodnie z istotą tej metody rozkład o parametrach zmiennej losowej: wartość minimalna (t_o), wartość maksymalna (t_m) oraz dominanta (t_d) można aproksymować rozkładem normalnym o parametrach (zob. [5]):

$$\begin{aligned} - \text{wartość oczekiwana: } \mu &= \frac{t_o + 4 \cdot t_d + t_m}{6}; \\ - \text{odchylenie standardowe: } \sigma &= \frac{t_m - t_o}{6}. \end{aligned}$$

Drugim rozkładem, który może być brany pod uwagę jest rozkład logarymicznie normalny. Znacznie lepiej opisuje on czas wykonywania czynności przez ludzi. Prawdopodobnie będzie on zatem przydatniejszy do opisu czasu reakcji dyspozytora czy też czasu przygotowania zespołu do wyjazdu. Rozkład logarymicznie normalny to rozkład normalny logarytmu zmiennej losowej, którego gęstość prawdopodobieństwa określona jest wzorem (zob. [1]):

$$\phi(\ln x|\mu, \sigma) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(\ln(x)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad [10]$$

Wprezentowanychponiżejobliczeniachkorzystanoz danych, stosując drugą ze wskazanych metod aproksymacji.

Czas reakcji dyspozytora

Pozyskując dane do analizy czasu reakcji dyspozytora, uwzględniono wszystkie zdarzenia, jakie miały miejsce na terenie badanego powiatu w latach 2006–2011. Czas reakcji dyspozytora wskazywany jest z dokładnością do 1 minuty. Należy zatem pamiętać, że czas reakcji równy 2 oznacza, że faktyczny czas reakcji był większy bądź równy 2 min i mniejszy od 3 min. Ze względu na sposób zapisu danych w bazie źródłowej przy

database, the middle, and not the left limit, was included in the analysis. If the value recorded in the database was 0 min, we assumed it was 0.5 min; if the value was 1, we assumed it was 1.5 min, etc.

Table 2 shows the parameters for empirical distributions of dispatcher response times. As we can see, the distribution is significantly right-skewed and strongly concentrated around the mode. Judging by its kurtosis and skewness, it is similar to a log-normal distribution. To better illustrate its shape, figure 1 shows the points of beginning of dispatcher response time histograms in respective years. For the sake of clarity, the histograms are presented as continuous functions.

analizie przyjęto następującą zasadę: w analizach uwzględniono środek przedziału, a nie jego lewą granicę. Jeżeli wartość zapisana w bazie wynosiła 0 min, to przyjmowano wartość 0,5 min, jeżeli była to natomiast wartość 1, to przyjmowano 1,5 min itd.

Parametry empirycznych rozkładów czasu reakcji dyspozytora przedstawiono w tabeli 2. Jak łatwo zauważyć, rozkład ten charakteryzuje się znaczną prawoskośnością oraz silnym skoncentrowaniem wokół dominanty. Sądząc po kurtozie i skośności, jest on zbliżony do rozkładu logarytmicznie normalnego. Dla lepszego zobrazowania jego kształtu na rycinie 1 przedstawiono początek histogramów czasu reakcji dyspozytora w poszczególnych latach. Dążąc do wzrostu czytelności histogramów, przedstawiono je jako funkcje ciągłe.

Table 2. Parameters for empirical distributions of dispatcher response times in minutes – from when the call is received to when the first rescue team is dispatched (2006–2011)

Tabela 2. Parametry rozkładów empirycznych czasu reakcji dyspozytora w min – od przyjęcia zgłoszenia do zadysponowania pierwszego zespołu ratowniczego w poszczególnych latach 2006–2011

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Average / Średnia	5.93	3.93	4.24	4.12	4.63	3.90
Standard error / Błąd standardowy	0.21	0.19	0.19	0.18	0.15	0.17
Median / Mediana	4.5	2.5	2.5	2.5	3.5	2.5
Mode / Dominanta	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5
Standard deviation / Odchylenie standardowe	4.62	4.15	4.27	3.70	3.52	3.55
Sample variance / Wariancja próbki	21.33	17.23	18.20	13.68	12.41	12.61
Kurtosis / Kurtoza	5.72	11.58	6.23	11.00	5.23	19.03
Skewness / Skośność	2.17	3.01	2.29	2.92	2.06	3.93
Minimum	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	1.5
Maximum / Maksimum	30.5	30.5	30.5	27.5	25.5	30.5
Counter / Licznik	477	469	481	424	577	416

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Bazy SWD-ST 2.5.

Data analysis indicates a strong concentration around the modes. For all the years, the value is the same – 2.5 min. This partially confirms the hypothesis formulated in the introduction about the stability of parameters and the shape of these distributions at several-year intervals. This property can be used to design or reorganise emergency services.

Due the significant right-skewness of the distributions, their approximation by a normal distribution is not viable. The presented histogram (figure 1) indicates that the analysed empirical distribution is bimodal, or even trimodal. It is difficult to determine the cause of this phenomenon from the collected data. Potentially, this may be related to how well trained individual dispatchers are, or to the complexity of events. The multimodality of an empirical distribution excludes its compatibility with any theoretical distribution. However, in order for the further discus-

Analiza prezentowanych danych wskazuje na silną koncentrację wokół dominanty. Dla wszystkich lat jej wartość jest taka sama – 2,5 min. Potwierdza to częściowo – sformułowaną we wprowadzeniu – hipotezę o stałości parametrów i kształtu tych rozkładów w kilkuletnich przedziałach czasowych. Własność tę można wykorzystać do projektowania lub reorganizacji systemu służb ratowniczych.

Znaczna prawoskośność rozkładów wyklucza ich aproksymację rozkładem normalnym. Zaprezentowany histogram (rycina 1) wskazuje na dwumodalność, czy wręcz nawet trójmodalność, analizowanego rozkładu empirycznego. na podstawie zebranych danych trudno jest określić przyczynę tego zjawiska. Należy raczej sądzić, że może być ono związane ze stopniem wykształcenia poszczególnych dyspozytorów lub stopniem komplikacji zgłaszanych spraw. Wielomodalność rozkładu empirycz-

sions in this article to be meaningful, approximation using theoretical distribution is necessary. The shapes of the histograms show a significant semblance to a log-normal distribution. Hence, this type of distribution was used for approximation.

Its parameters are based on:

- all data;
- and on the basis of data from the 0.05 – 0.85 percentile interval of the empirical distribution.

The approximating distribution with parameters determined using the second method is closer to an empirical distribution.

nego wyklucza jego zgodność z jakimkolwiek rozkładem teoretycznym. Jednakże, aby dalsze rozważania nad problematyką prezentowaną w niniejszym artykule miały sens, należy dokonać jego aproksymacji rozkładem teoretycznym. Kształt histogramów wskazuje na istotne podobieństwo do rozkładu logarymicznie normalnego. Taki też rozkład został wykorzystany do aproksymacji. Jego parametry wyznaczono na podstawie:

- wszystkich danych;
- na podstawie danych pochodzących z przedziału percentyl (0,05) – percentyl (0,85) rozkładu empirycznego.

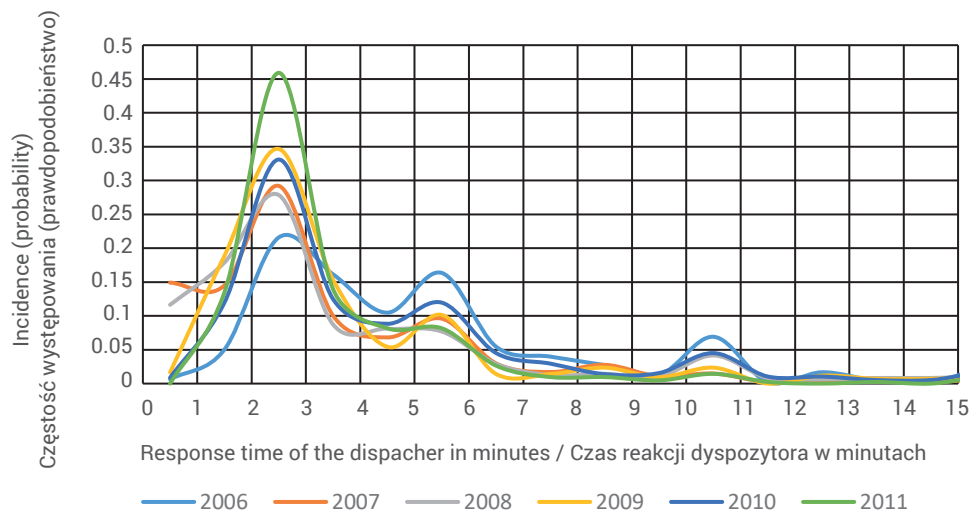


Figure 1. Histograms of dispatcher response times (2006–2011)

Rycina 1. Histogramy czasu reakcji dyspozytora w poszczególnych latach 2006–2011

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z Bazy SWD-ST 2,5.

This is presented in Figure 2. For reasons explained above, this article does not include any tests for compliance between the approximating distribution and the empirical distribution, since their results are negative. The correctness of the approximation was presented only visually, in Figure 2, as histograms of empirical distributions from the years 2009–2011, and of a log-normal distribution, whose parameters were determined based on data from 2009. This strong compliance in Figure 2 does not apply to every year, as reflected in Figure 3. However, we believe that it is good enough to simulate dispatcher response times, necessary for the design or reorganisation of the emergency services.

The approximation was done using a logarithm of dispatcher response times and by determining its fundamental measures for the resulting empirical distribution. This was done under the assumption that the resulting distribution was a normal distribution. Table 3 shows the basic parameters of the distribution of variable $y = \ln(t_{AB})$ in the years 2006–2011 for the district under study.

Rozkład aproksymujący o parametrach wyznaczonych tym drugim sposobem jest bardziej zbliżony do rozkładu empirycznego, co zaprezentowano na rycinie 2. Z oczywistych względów (wspomnianych powyżej), nie zamieszczono w artykule żadnych testów na zgodność rozkładu aproksymującego z rozkładem empirycznym, ponieważ dają one wynik negatywny. Poprawność aproksymacji pokazana została jedynie wizualnie na rycinie 2. Zamieszczono na nim histogramy rozkładów empirycznych z lat 2009–2011 oraz rozkładu logarymicznie normalnego, którego parametry wyznaczono w oparciu o dane z roku 2009. Widoczna na rycinie 2 zgodność nie w każdym roku jest taka wysoka, co odzwierciedla rycina 3. Niemniej jednak, zdaniem autorów, jest wystarczająco dobra do prowadzenia symulacji czasu reakcji dyspozytora, niezbędnych przy projektowaniu bądź reorganizacji systemu służb ratowniczych.

Aproksymacji dokonano, logarytmując czas reakcji dyspozytora oraz wyznaczając dla tak powstałego rozkładu empirycznego podstawowe jego miary przy założeniu, że utworzony rozkład jest rozkładem normalnym. W tabeli 3 przedstawiono podstawowe parametry rozkładu zmiennej $y = \ln(t_{AB})$ w latach 2006–2011 dla badanego powiatu.

The presented results indicate a strong stability of the shape and the parameters of empirical distributions for dispatcher response times at intervals of several years. This property can be used for making predictions several years into the future, based on data from previous years. Such predictions could be used to optimise the capabilities and deployment of emergency services. However, this would require the remaining response stages to demonstrate a similar property. Moreover, it would be necessary to know the spatial distribution of hazards for which this system is built. There is strong documented evidence that the spatial distribution of local hazards is also stable over a horizon of several years⁶.

The closest theoretical distribution that describes dispatcher response times is a log-normal distribution, whose parameters are estimated based on empirical data from the 0.05–0.85 percentile interval.

Zaprezentowane wyniki badań wskazują na znaczną stałość kształtu i parametrów rozkładów empirycznych czasu reakcji dyspozytora w kilkuletnich przedziałach czasowych. Własność ta może być wykorzystana do prognozowania w kilkuletniej perspektywie w oparciu o dane z lat poprzednich. Możliwość ta otwiera drogę do optymalizacji potencjału i rozmieszczenia służb ratowniczych. Aby jednak było to możliwe, pozostałe etapy procesu reagowania muszą wykazywać podobną własność oraz należy znać przestrzenny rozkład zagrożeń, dla których ów system jest budowany. Istnieją silnie udokumentowane przesłanki, że przestrzenny rozkład zagrożeń miejscowych jest również stabilny w kilkuletniej perspektywie czasowej⁶.

Najbardziej zbliżonym rozkładem teoretycznym opisującym czas reakcji dyspozytora jest rozkład logarytmicznie normalny, którego parametry oszacowane zostały na podstawie danych empirycznych z przedziału: percentyl (0,05) – percentyl (0,85).

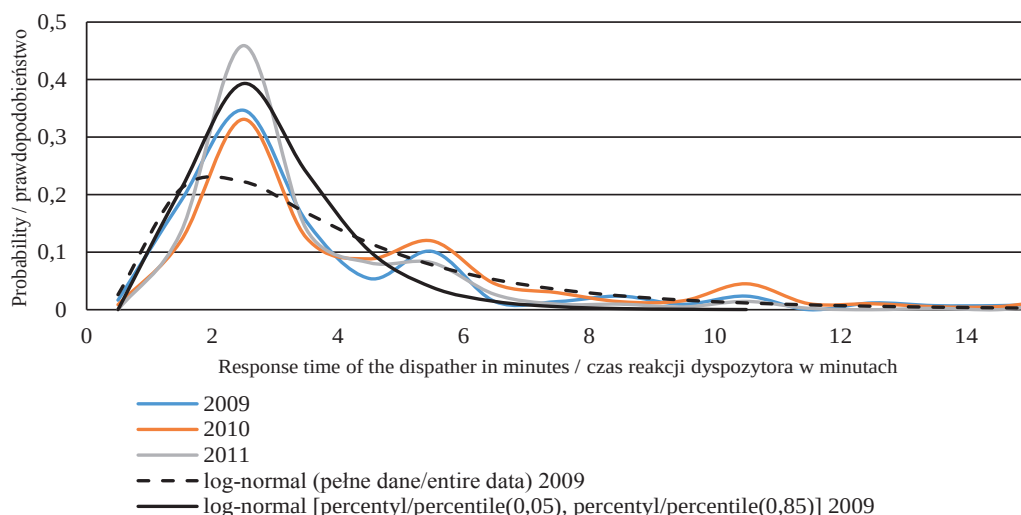


Figure 2. Histograms of distributions for dispatcher response times in the years 2009–2011 and log-normal distributions approximating the distribution of 2009

Rycina 2. Histogramy rozkładów czasu reakcji dyspozytora w latach 2009–2011 oraz rozkładów logarytmicznie normalnych aproksymujących rozkład z roku 2009

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z bazy SWD-ST 2,5.

Time taken by the rescue team to prepare for departure and to cover 1 km

The SWD-ST 2.5 database contains data only on the time taken to dispatch the rescue team and to arrive at the scene. Such a database design renders it impossible to obtain, directly from the database, empirical distributions describing the time taken by rescuers to depart and to cover 1 km (the inverse of the travel technical speed). Hence, they should be isolated from the distribution describing the time from rescue team dispatch to arrival at the scene.

Czas przygotowania do wyjazdu i pokonania 1 km przez zespół ratowniczy

W bazie danych SWD-ST 2,5 podawany jest jedynie czas zadysponowania zespołu ratowniczego oraz czas dotarcia tego zespołu do miejsca zdarzenia. Taka konstrukcja bazy danych wyklucza pozyskanie bezpośrednio z niej rozkładów empirycznych opisujących czas przygotowania ratowników do wyjazdu i czas przejazdu 1 km (odwrotność prędkości technicznej przejazdu). Należy je zatem wydzielić z rozkładu opisującego czas upływający od zadysponowania zespołu do jego dotarcia na miejsce zdarzenia.

⁶ This conclusion results from research also carried out as part of the same project.

⁶ Wniosek ten wynika z badań prowadzonych również w ramach tego samego projektu.

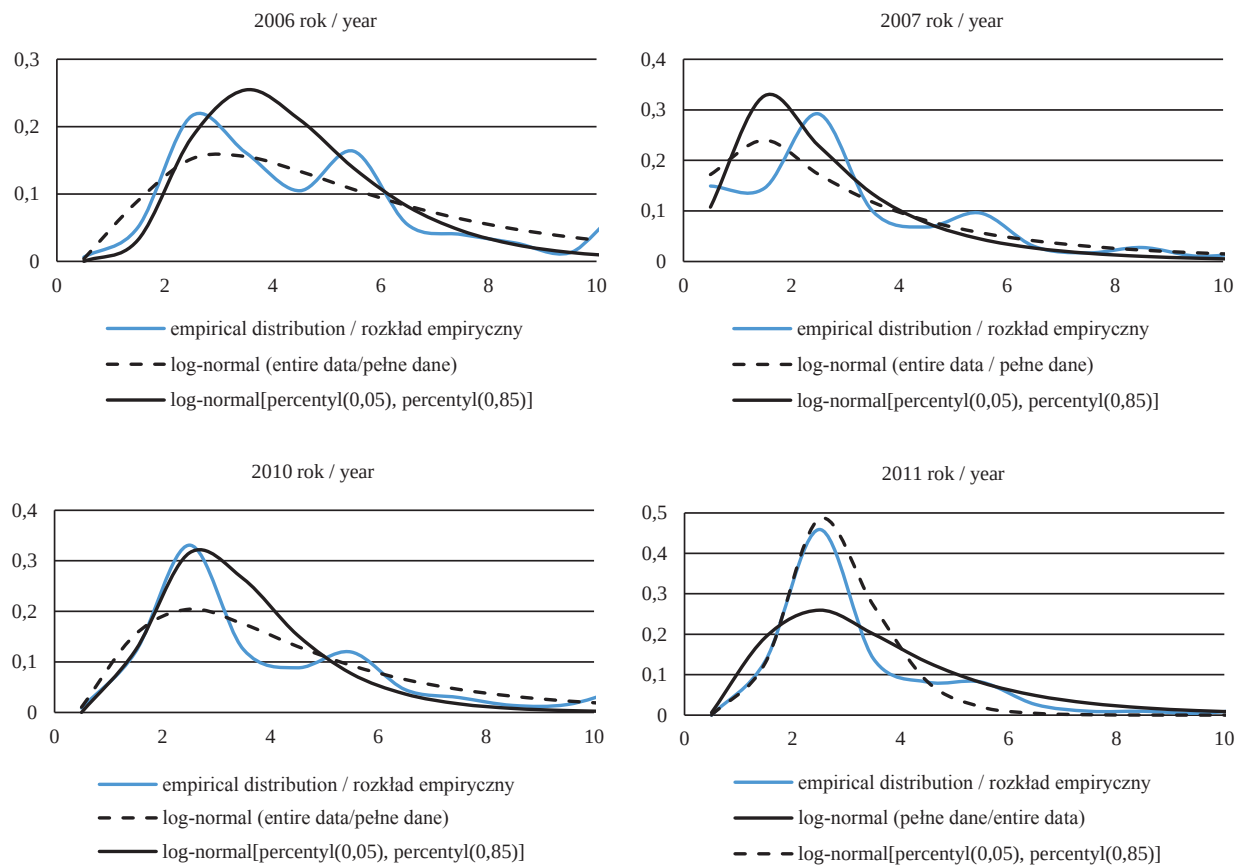


Figure 3. Comparison of histograms of empirical distributions for dispatcher response times with approximating log-normal distributions in respective years

Rycina 3. Porównanie histogramów empirycznych rozkładów czasu reakcji dyspozytora z aproksymującymi je rozkładami logarytmicznie normalnymi w poszczególnych latach

Source: Authors' work based on data from the SWD-ST 2.5 database.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z bazy SWD-ST 2,5.

Table 3. Summary of basic data for empirical distributions $Y = \ln(tAB)$ (Natural logarithms of dispatcher response times)

Tabela 3. Zestawienie podstawowych danych rozkładów empirycznych $Y = \ln(tAB)$ (logarytmów naturalnych czasu reakcji dyspozytora)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011
All empirical data / Wszystkie dane empiryczne						
Average / Średnia	1.55	0.96	1.04	1.16	1.31	1.16
Median / Mediana	1.50	0.92	0.92	0.92	1.25	0.92
Mode / Dominanta	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Standard deviation / Odchylenie standardowe	0.66	0.92	0.92	0.67	0.65	0.56
Sample variance / Wariancja próbki	0.44	0.85	0.84	0.45	0.42	0.31
Kurtosis / Kurtoza	0.32	-0.08	-0.13	0.82	0.12	2.21
Skewness / Skośność	0.22	-0.18	-0.10	0.50	0.29	1.28
Number of data / Liczba danych	477	469	481	424	577	416

Empirical data from the interval [(0.05) – (0.85) percentile] / Dane empiryczne z przedziału [percentyl (0,05) – percentyl (0,85)]						
Average / Średnia	1.42	0.80	0.87	1.01	1.17	1.01
Median / Mediana	1.50	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Mode / Dominanta	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Standard deviation / Odchylenie standardowe	0.41	0.69	0.64	0.39	0.42	0.31
Sample variance / Wariancja próbkki	0.17	0.47	0.41	0.16	0.18	0.10
Kurtosis / Kurtoza	–0.88	0.32	0.65	–0.67	–0.80	0.14
Skewness / Skośność	0.12	–0.95	–0.85	0.08	0.05	0.11
Number of data / Liczba danych	379	371	381	337	461	331

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z bazy SWD-ST 2.5.

To estimate the distribution describing the travel speed, it also essential to know the distance from the headquarters of the rescue team to the scene. Two values are recorded in the database: the coordinates of the scene and the number of kilometres covered by the rescue team. These values do not correspond with each other. Therefore, the actual distance was estimated using the coordinates of the scene and a Google Maps functionality that allows to read road distances based on geographical coordinates.

A particular problem is to isolate, from the variable describing the time from rescue team dispatch to arrival at the scene (t_{BD}), the variables that describe the time taken by the team to prepare for departure (t_{BP}) and the travel time (t_{CD}). To this end, it was necessary to assume that the variable and, by implication, the variable components were normally distributed.

Suppose that:

- $T_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ is a random variable describing time t_{BD} for an event that is at a distance of i – km from the headquarters of the rescue teams;
- $T_P \sim N(\mu_P, \sigma_P^2)$ is a random variable describing time t_{BP} ;
- $T_J \sim N(\mu_J, \sigma_J^2)$ is a random variable describing the time taken by the rescue team to cover 1 km;
- i n – distance of the event from the headquarters of the rescue teams (in kilometres);

Then:

$$T_i = T_P + iT_J \sim N(\mu_P + i\mu_J, \sigma_P^2 + i\sigma_J^2) \quad (11)$$

Hence:

$$T_{i+1} - T_i = T_J \quad (12)$$

Since each of the variables on the left side of the equation (12) is a linear combination of the same two variables, one of which is the right side of the equation (12), the parameters that

Do oszacowania rozkładu opisującego prędkość przejazdu niezbędna jest również odległość miejsca zdarzenia od siedziby zespołów ratowniczych. W bazie danych zapisywane są dwie wielkości: współrzędne geograficzne miejsca zdarzenia oraz liczba pokonanych przez zespół ratowniczy kilometrów. Wielkości te nie korespondują ze sobą. Dlatego też rzeczywistą odległość szacowano, wykorzystując współrzędne geograficzne miejsca zdarzenia oraz funkcjonalność Map Google umożliwiającą odczytanie odległości wzdłuż dróg na podstawie współrzędnych geograficznych.

Szczególnym problemem jest wyodrębnienie ze zmiennej opisującej czas upływający od zadysponowania zespołu ratowniczego do jego dotarcia na miejsce zdarzenia (t_{BD}), zmiennych opisujących: czas przygotowania zespołu do wyjazdu (t_{BP}) oraz czas przejazdu (t_{CD}). Dokonanie tego wymagało przyjęcia założenia o normalności rozkładu zmiennej, co implikuje przyjęcia założenia o normalności rozkładów zmiennych składowych.

Niech:

- $T_i \sim N(\mu_i, \sigma_i^2)$ oznacza zmienną losową opisującą czas t_{BD} dla zdarzenia odległego od siedziby zespołów ratowniczych o i – km;
- $T_P \sim N(\mu_P, \sigma_P^2)$ oznacza zmienną losową opisującą czas t_{BP} ;
- $T_J \sim N(\mu_J, \sigma_J^2)$ oznacza zmienną losową opisującą czas pokonania przez zespół ratowniczy 1 km;
- i n to odległość zdarzenia od siedziby zespołów ratowniczych wyrażona w kilometrach;

Wówczas:

$$T_i = T_P + iT_J \sim N(\mu_P + i\mu_J, \sigma_P^2 + i\sigma_J^2) \quad (11)$$

Stąd:

$$T_{i+1} - T_i = T_J \quad (12)$$

Ponieważ każda ze zmiennych po lewej stronie równania (12) jest kombinacją liniową dwóch tych samych zmiennych, z których jedna stanowi prawą stronę równania (12), oszac-

explicitly describe the variables (μ_J and σ_J^2) must be estimated by solving two algebraic equations, without taking into account the properties of the linear combination of normal distributions.

However, there is another explanation for this. If a random variable is a linear combination of two independent random variables, its variance (volatility) is also a linear combination of the variance of the same variables. When isolating one of the variables, we cannot duplicate its variance, as this has already been included in the common random variable.

Taking into account the above:

$$\mu_{Ji} = \mu_{i+1} - \mu_i \quad (13)$$

$$\sigma_{Ji}^2 = \sigma_{i+1}^2 - \sigma_i^2 \quad (14)$$

By isolating categories of events from empirical data according to event distance from the headquarters of the rescue team, we obtain the following sets of events: up to 1 km, marked as 0 km; 1–2 km, marked as 1 km; 2–3 km, marked as 2 km, etc. Each one is considered as reflecting the linear combination of two random variables (formula 11): the time taken by the rescue team to prepare for departure and to arrive at the scene. Next, they are approximated using normal distributions, with the mean valued termed as the estimator of the expected value, and the square of the standard deviation as the estimator of variance. This is followed by calculations according to formulas (13) and (14) for each of the distinguished sets of events. The result is a set of means and variances, in which there are many elements as categories. If the categories were determined according to the previously formulated rule, then:

$$\mu_J = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{Ji}}{n} \quad (15)$$

$$\sigma_J^2 = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{Ji}^2}{n} \right| \quad (16)$$

Following the same logic, and knowing the distribution parameters describing the time taken to cover 1 km, we determine the parameters of the random variable describing the time taken by the rescue team to prepare for departure.

$$\mu_{pi} = \mu_i - i\mu_J \quad (17)$$

$$\sigma_{pi}^2 = \sigma_i^2 - i\sigma_J^2 \quad (18)$$

$$\mu_p = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{pi}}{n} \quad (19)$$

$$\sigma_p^2 = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{pi}^2}{n} \right| \quad (20)$$

Due scarcity of data from individual years for each category, the approximation was based on data from the years 2007–2009. Erroneous data, suggesting impossible travel speeds, was removed from the distinguished categories. It is hard to imagine a rescue team travelling in a high-priority vehicle at an average

wania parametrów jednoznacznie ją opisujących (μ_J oraz σ_J^2) należy dokonać poprzez rozwiązanie dwóch równań algebraicznych, bez uwzględniania własności kombinacji liniowej rozkładów normalnych.

Istnieje także inne wytłumaczenie. Jeżeli zmienna losowa jest kombinacją liniową dwóch niezależnych zmiennych losowych, to jej wariancja (zmienność) jest również kombinacją liniową wariancji tych samych zmiennych. Wyodrębniając jedną ze zmiennych składowych, nie możemy powielić jej wariancji, która już została uwzględniona we wspólnej zmiennej losowej.

Biorąc pod uwagę powyższe:

$$\mu_{Ji} = \mu_{i+1} - \mu_i \quad (13)$$

$$\sigma_{Ji}^2 = \sigma_{i+1}^2 - \sigma_i^2 \quad (14)$$

Wyodrębniając z danych empirycznych kategorie zdarzeń ze względu na ich odległość od siedziby zespołu ratowniczego, otrzymujemy zbiory zdarzeń: do 1 km oznaczając ją jako 0 km; od 1–2 km oznaczając ją jako 1 km; od 2–3 km oznaczając ją jako 2 km, itd. Każdy z nich traktujemy jako realizację kombinacji liniowej dwóch zmiennych losowych (wzór 11): czasu przygotowania do wyjazdu i czasu przejazdu zespołu ratowniczego do miejsca zdarzenia. Aproksymujemy je rozkładami normalnymi, wyznaczając wartość średnią jako estymator wartości oczekiwanej oraz kwadrat odchylenia standardowego, jako estymator wariancji. Następnie dokonujemy obliczeń zgodnie ze wzorami (13) i (14) dla każdego z wyróżnionych zbiorów zdarzeń. Ich efektem jest zbiór średnich i wariancji zawierający tyle elementów, ile wyróżniliśmy kategorii. Jeżeli kategorie ustalone zostały zgodnie z wcześniej sformułowaną regułą, wówczas:

$$\mu_J = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{Ji}}{n} \quad (15)$$

$$\sigma_J^2 = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{Ji}^2}{n} \right| \quad (16)$$

Stosując ten sam schemat rozumowania oraz znając parametry rozkładu opisującego czas przejazdu 1 km, wyznaczamy parametry zmiennej losowej opisującej czas przygotowania zespołu ratowniczego do wyjazdu.

$$\mu_{pi} = \mu_i - i\mu_J \quad (17)$$

$$\sigma_{pi}^2 = \sigma_i^2 - i\sigma_J^2 \quad (18)$$

$$\mu_p = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{pi}}{n} \quad (19)$$

$$\sigma_p^2 = \left| \frac{\sum_{i=1}^n \sigma_{pi}^2}{n} \right| \quad (20)$$

Ze względu na niewielką ilość danych z pojedynczych lat dla każdej kategorii, aproksymacji dokonano w oparciu o dane z lat 2007–2009. W wyodrębnionych kategoriach usunięto błędne dane wskazujące niemożliwe do osiągnięcia średnie prędkości przejazdu. Trudno wyobrazić sobie, aby zespół ratowniczy poru-

speed of over 70 km/h or under 30 km/h. Such vehicles run on normal roads with intersections.

After categorising and cleaning data, according to the adopted rules mentioned above, we tested the normality of the distribution which describes the time from rescue team dispatch to arrival at the scene for each category using the Kormołodow-Smirnov test (the results are summarised in table 4). The critical value of this test for a significance of 0.05 is 1.358. Thus, if the test result is less than the critical value, then there is no reason to reject the hypothesis that the distributions tested are normally distributed.

szający się pojazdem uprzywilejowanym osiągnął średnią prędkość przejazdu powyżej 70 km/h lub poniżej 30 km/h. Porusza się on po normalnych drogach ze skrzyżowaniami.

Po kategoryzacji danych i ich oczyszczeniu, zgodnie z przyjętymi powyżej regułami, dokonano sprawdzenia normalności rozkładu opisującego czas upływający od zadysponowania zespołu do jego dotarcia na miejsce zdarzenia, dla każdej kategorii, dla każdej kategorii wykorzystując test Kormołodowa-Smirnowa (wyniki zestawiono w tabeli 4). Wartość krytyczna tego testu dla poziomu istotności 0,05 wynosi 1,358. Jeżeli zatem wynik testu jest mniejszy od wartości krytycznej, to nie ma podstaw do odrzucenia hipotezy o normalności badanych rozkładów.

Table 4. Results of the Kolmogorow-Smirnow test for each category of data

Tabela 4. Wyniki testu Kołmogorowa-Smirnowa dla poszczególnych kategorii danych

Category / kategoria	3	4	5	6	7	8	9
Distance / odległość	[3–4) km	[4–5) km	[5–6) km	[6–7) km	[7–8) km	[8–9) km	[9–10) km
Test value / Wartość testu	1.16	0.804	1.034	1.101	1.419	0.957	1.291

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database for the years 2007–2009.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z bazy SWD-ST 2,5 z lat 2007–2009.

The above data validate the hypothesis that the distribution describing the time taken from rescue team dispatch to arrival at the scene is normal.

When examining the normality of the distribution of this random variable, we also estimated the basic parameters of empirical distributions for each category of event. Some of this data is presented in table 5 (complete calculations were based on categories from 1 to 12). Based on this data, using the above formulas, we estimated the parameters of distributions describing time t_p and t_j :

$$t_j \sim N(1,23; 1,046)$$

$$t_p \sim N(4,97; 0,549)$$

Jak wynika z powyższych danych, hipotezę o normalności rozkładu opisującego czas upływający od zadysponowania zespołu do jego dotarcia na miejsce zdarzenia należy uznać za prawdziwą.

Badając normalność rozkładu tej zmiennej losowej, oszacowano również podstawowe parametry rozkładów empirycznych dla poszczególnych kategorii zdarzeń. Fragment tych danych przedstawiono w tabeli 5 (pełne obliczenia oparto na kategoriach od 1 do 12). Na ich podstawie oszacowano, zgodnie z powyższymi wzorami, parametry rozkładów opisujących czas t_p oraz t_j :

$$t_j \sim N(1,23; 1,046)$$

$$t_p \sim N(4,97; 0,549)$$

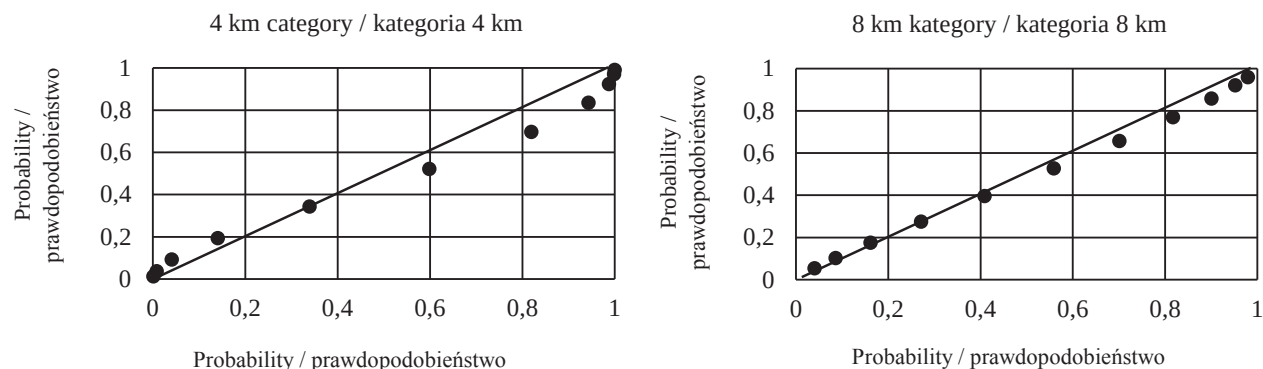


Figure 4. Charts of the distribution function expressed by formula (11) as a distribution function approximating the empirical distribution

Rycina 4. Wykresy dystrybucyj rozkładu opisanego wzorem [11] w funkcji dystrybucyj rozkładu aproksymującego rozkład empiryczny

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database for the years 2007–2009.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z bazy SWD-ST 2,5 z lat 2007–2009.

After isolating the variables, we tested the compatibility of the distributions, determining their parameters from empirical data and by using the linear combination of the distributions describing the time taken to cover one kilometre, and to prepare for departure ($t = t_p + i \cdot t_j$). For compatibility analysis, we used probability – probability (P-P) charts, which are partly presented in figure 4. Our analysis showed that the procedure used to isolate random variables was correct.

Figure 5 shows the incidence of specific values of a random variable describing the time from rescue team dispatch to arrival at the scene based on: actual data, approximation using normal distribution (data from table 5) and simulation using estimated parameters of the random-variable components (time taken to prepare for departure and cover 1 km). Histograms are again presented as continuous distributions, although in fact they are discrete distributions with an interval length of 1 min.

Po wyodrębnieniu zmiennych dokonano sprawdzenia zgodności rozkładów, których parametry wyznaczono z danych empirycznych oraz z wykorzystaniem liniowej kombinacji rozkładów opisujących czas pokonania jednego kilometra i przygotowania do wyjazdu ($t = t_p + i \cdot t_j$). Do analizy zgodności wykorzystano wykresy prawdopodobieństwo – prawdopodobieństwo (P-P), których część zaprezentowano na rycinie 4. Dokonane analizy wskazują na poprawność przyjętej procedury wyodrębniania zmiennych losowych.

Na rycinie 5 przedstawiono częstość występowania danej wartości zmiennej losowej opisującej czas upływający od zadysponowania zespołu do jego dotarcia na miejsce zdarzenia na podstawie danych: rzeczywistych, aproksymacji rozkładem normalnym (dane z tabeli 5) oraz symulacji wykorzystującej oszacowane parametry składowych zmiennych losowych (czasu przygotowania do wyjazdu oraz czasu przejazdu na odległość 1 km). Histogramy zaprezentowano w dotychczasowej konwencji rozkładów ciągłych, choć w rzeczywistości są to rozkłady dyskretne o długości przedziału 1 min.

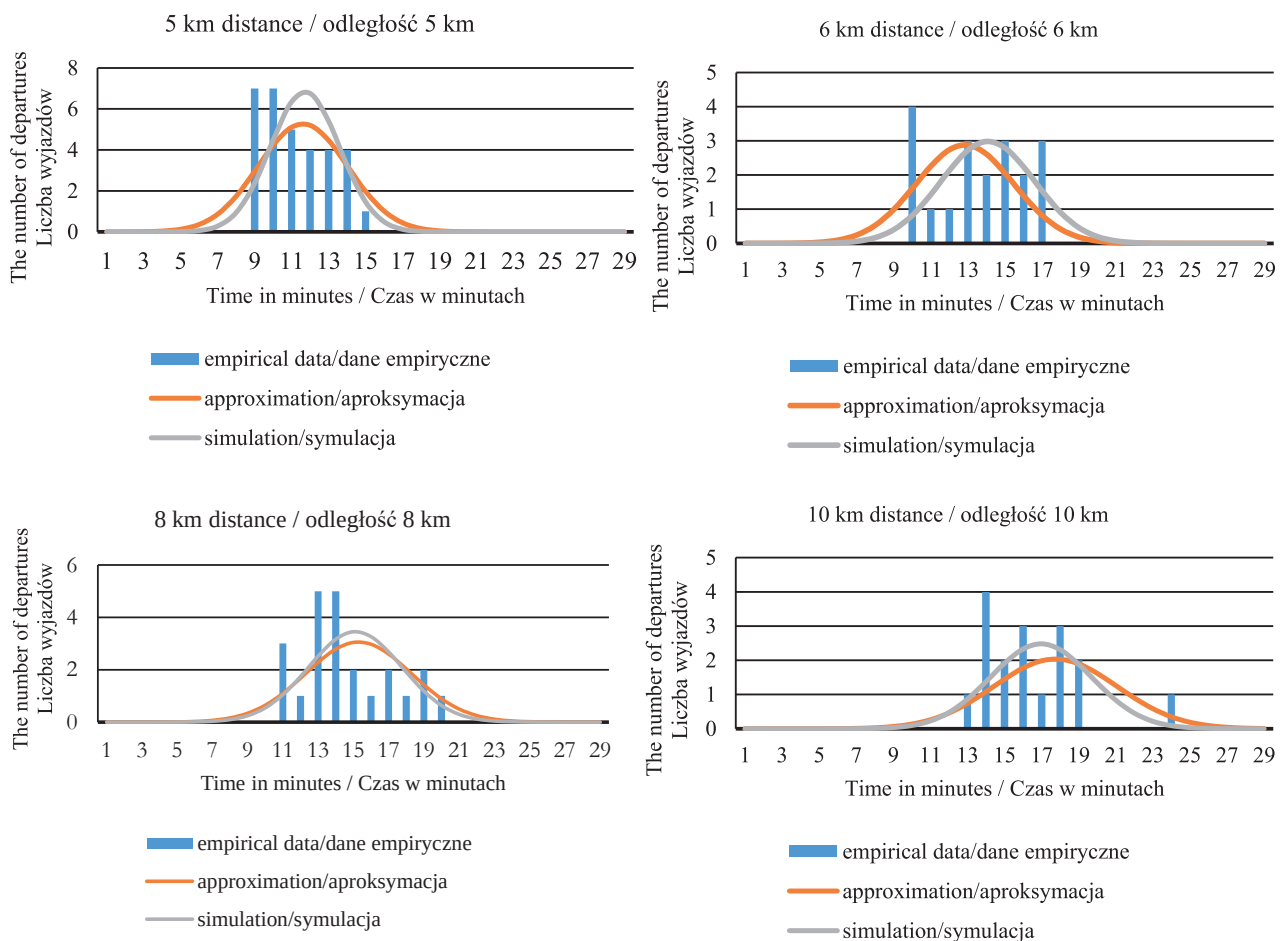


Figure 5. Histogram of the time from rescue team dispatch to arrival at the scene at different distances based on empirical data and approximation using normal distribution and simulation

Rycina 5. Histogram rozkładu czasu upływającego od zadysponowania zespołu do jego dotarcia na miejsce zdarzenia dla różnych odległości na podstawie danych: empirycznych, aproksymacji rozkładem normalnym oraz symulacji

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z bazy SWD-ST 2.5.

A comparative analysis of simulation, approximation and empirical data (some of which are presented in figure 5) indicates a significant compliance between histograms based on simulations and approximations. This largely confirms the validity of the variable-separation method presented above (see also figure 4). However, the comparison of histograms of empirical distributions with approximation and simulation-based distributions indicates a certain discrepancy. This is due to the fact that the shape of the approximating distribution was assumed beforehand. This assumption also led to the separation of variables, resulting in their normal distribution.

Assuming that the dominant component in the 0 km category, including distances of less than 1 km from the headquarters of the rescue teams, is the variable describing the time taken by the rescue team to depart, we approximated the empirical distribution using normal and log-normal distributions. As a result, we found that the preparation time of the rescue team was described using the log-normal distribution. This is indicated by a chi-squared test at a significance level of 0.01. However, such a distribution prevents the isolation of the other variable – the time taken by the rescue team to cover 1 km. Therefore, in the future, the database should additionally record the times taken by the rescue teams to leave the station once they are dispatched.

Approximation of rescue operation times

Rescue operation times (cf. [4]) depend largely on the magnitude of the event. This magnitude can be determined by two main parameters: rescue operation time and the number of rescue teams involved in the operations. Figure 6 presents the empirical distribution of rescue operation times in 2008 in the form of box plots. Operations with 1 rescue team accounted for 54% of all events, 2 rescue teams – 30%, 3 rescue teams – 9%, more than 3 rescue teams – 8%.

Analiza porównawcza symulacji, aproksymacji i danych empirycznych (fragment zaprezentowano na rycinie 5) wskazuje na znaczną zgodność histogramów opartych na symulacji oraz aproksymacji, co w znacznym stopniu potwierdza słuszność zaprezentowanej powyżej metody rozdzielania zmiennych (zob. również rycinę 4). Porównanie natomiast histogramów rozkładów empirycznych z aproksymacją i symulacją wskazuje na pewną ich rozbieżność. Wynika to z faktu, iż założono kształt rozkładu aproksymującego. Stanowił on również podstawę do rozdzielania zmiennych, które w związku z tym również zachowały rozkład normalny.

Przyjmując założenie, że dominującą składową w kategorii 0 km, obejmującej wyjazdy na odległość mniejszą niż 1 km od siedziby zespołów ratowniczych, jest zmienna opisująca czas przygotowania zespołu do wyjazdu, dokonano aproksymacji rozkładu empirycznego rozkładami: normalnym i logarytmicznie normalnym. W jej wyniku okazało się, że czas przygotowania zespołu ratowniczego opisany jest rozkładem logarytmicznie normalnym. Wskazuje na to test chi-kwadrat na poziomie istotności 0,01. Jednakże przyjęcie takiego rozkładu uniemożliwia wyodrębnienie drugiej zmiennej – czasu pokonania 1 km przez zespół ratowniczy. Dlatego też w przyszłości należałoby umieszczać w bazie danych dodatkowo czas wyjazdu zespołu ratowniczego po otrzymaniu dyspozycji.

Aproksymacja czasu trwania działań ratowniczych

Czas trwania działań ratowniczych (por. [4]) zależy w dużym stopniu od wielkości tych zdarzeń, którą można określić za pomocą dwóch podstawowych parametrów: czasu trwania działań ratowniczych oraz liczby zaangażowanych w te działania zespołów ratowniczych. Na rycinie 6 zaprezentowano empiryczny rozkład czasu trwania działań ratowniczych w roku 2008 w postaci wykresów pudełkowych. Działania, w których brało udział: 1 zespół ratowniczy stanowiły 54% wszystkich akcji, 2 zespoły ratownicze – 30%, 3 zespoły ratownicze – 9%, więcej niż 3 zespoły ratownicze – 8%.

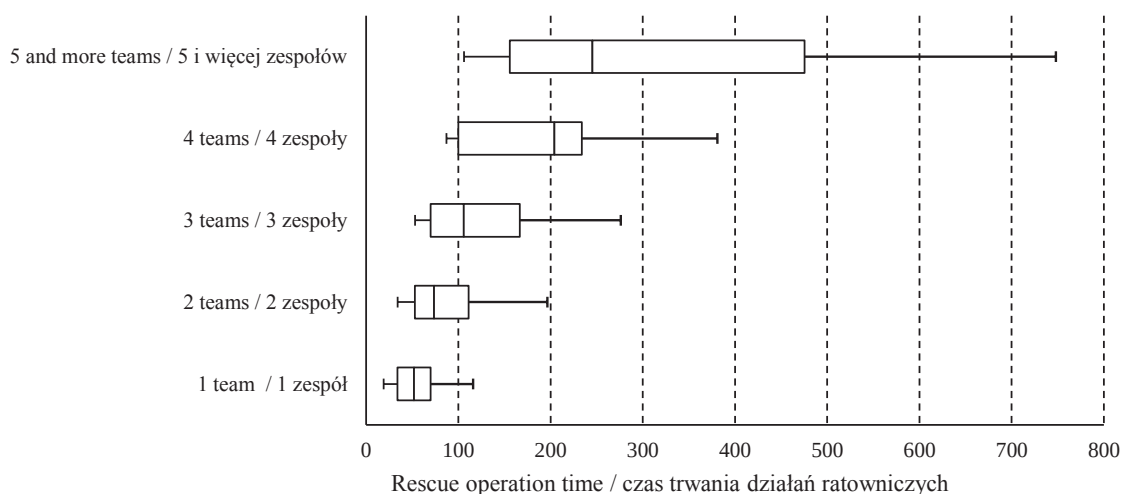


Figure 6. Box plots of rescue operation times by number of rescue teams involved (2008)

Rycina 6. Wykresy pudełkowe czasu trwania działań ratowniczych w zależności od liczby zaangażowanych zespołów ratowniczych w 2008 roku

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database.

Źródło: opracowanie własne na podstawie danych z bazy SWD-ST 2,5.

As rescue operations conducted by at least 3 rescue teams accounted for 92% of all events, we studied further only those events. Figure 6 shows that the rescue operation times can be described by a log-normal distribution. Hence, table 6 contains the basic data on the natural-logarithm distribution of rescue operation times, with Kolmogorov-Smirnov test (KS-test) statistics for 11 intervals. The critical value of this test for a significance level of 0.05 is 1.358. It is, therefore, concluded that rescue operation times are described using a log-normal distribution.

The chi-square tests on the consistency of empirical distributions for rescue operation times in individual categories, with theoretical distributions of the natural logarithm of these times (distribution parameters in table 5), did not warrant the rejection of the hypothesis that they were consistent. When comparing rescue operation times in respective years with the log-normal distribution of these times in 2008, the chi-square test indicated a growing discrepancy over the years. For 2011 the test did not confirm the consistency of these distributions.

However, the tests show that the distribution of the rescue operation times can be approximated by a log-normal distribution with the parameters estimated using data from past 2–3 years. Thus, based on data from the current year, we can predict the distribution of the rescue operation times in the coming years, as in the case of other components of emergency response times discussed earlier.

Ponieważ działania ratownicze prowadzone przez co najmniej 3 zespoły ratownicze stanowią 92% wszystkich zdarzeń, dalszym badaniom poddano jedynie te zdarzenia. Rycina 6 wskazuje, że czas trwania działań ratowniczych można opisać rozkładem logarytmicznie normalnym. Dlatego też w tabeli 6 zamieszczono podstawowe dane rozkładów logarytmu naturalnego czasu trwania działań ratowniczych wraz z wartością statystyki testu Kołmogorowa-Smirnowa dla 11 przedziałów. Wartość krytyczna tego testu dla poziomu istotności 0,05 wynosi 1,358. Należy zatem stwierdzić, że czas trwania działań ratowniczych opisany jest rozkładem logarytmicznie normalnym.

Przeprowadzone testy chi-kwadrat zgodności rozkładów empirycznych czasu trwania działań ratowniczych w poszczególnych kategoriach z teoretycznymi rozkładami logarytmu naturalnego tego czasu (parametry rozkładu w tabeli 5.) nie upoważniają do odrzucenia hipotezy o ich zgodności. Porównując natomiast czas działań ratowniczych w kolejnych latach z rozkładem logarytmicznie normalnym tego czasu z roku 2008, test chi-kwadrat wskazuje na rosnącą z upływem lat rozbieżność. Dla roku 2011 wspomniany test nie potwierdza już zgodności tych rozkładów.

Niemniej jednak przeprowadzone testy wskazują, że rozkład czasu trwania działań ratowniczych można aproksymować rozkładem logarytmicznie normalnym o parametrach oszacowanych na podstawie danych sprzed 2–3 lat. Oznacza to, że na podstawie danych z roku bieżącego możemy przewidzieć rozkład czasu trwania działań ratowniczych w latach najbliższych, podobnie jak to miało miejsce w przypadku, zaprezentowanych powyżej, pozostałych składowych czasu reakcji służb ratowniczych.

Table 6. Descriptive statistics of empirical distributions for the natural-logarithm of rescue operation times in 2008 with the Kolmogorov-Smirnov test statistics

Tabela 6. Statystyka opisowa empirycznych rozkładów logarytmu naturalnego czasu trwania działań ratowniczych w 2008 roku wraz ze statystyką testu Kołmogorowa-Smirnowa

	1 rescue team 1 zespół ratowniczy	2 rescue teams 2 zespoły ratownicze	3 rescue teams 3 zespoły ratownicze
Average / Średnia	3.89	4.33	4.69
Median / Mediana	3.95	4.30	4.66
Mode / Dominanta	3.56	3.89	4.25
Standard deviation / Odchylenie standardowe	0.54	0.42	0.53
Sample variance / Wariancja próbek	0.30	0.18	0.28
Kurtosis / Kurtoza	−0.41	−0.74	−0.84
Skewness / Skośność	−0.15	0.23	0.29
Minimum	2.56	3.56	3.87
Maximum / Maksimum	5.15	5.27	5.77
Number of events / Liczba zdarzeń	259	128	42
K-S test statistics / Statystyka testu K-S	1.256	0.977	0.821

Source: Own elaboration based on data from the SWD-ST 2.5 database.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych z bazy SWD-ST 2,5.

Model test

Model tests were carried out by comparing the results obtained by simulation based on data from 2009, and in the case of variables t_{bc} and t_{cd} – based on data from the years 2007–2009, with the empirical data from the years 2010 and 2011. In order to carry out full simulations, it is necessary to describe the process that generates the spatial distribution of events, and this is beyond the scope of this article. Therefore, we focused only on determining the operational responsibility area of the rescue teams.

The size of this area is defined as the distance of event location from the headquarters of the rescue teams, ensuring, with a predefined probability (e.g.: 0.8), that the rescue teams arrive at the scene within a specific time. Let us assume that the time limit ensuring the effectiveness of the rescue operations is 20 minutes. For our simulation, we used a set of data presented in table 7, where:

t_d – dispatcher response time;

t_j – time taken to cover 1 km;

t_p – time taken by the rescue team to prepare for departure.

Microsoft Office 2013 spreadsheet was used for the simulation. Five hundred executions were drawn from the variables presented in table 7. Executions of variable t_j were drawn using the normal truncated distribution. The truncated lower limit was set at 30 km/h (variable – 1.71 min/km), while the upper limit was set at 70 km/h (variable – 1 min/km). It should be noted that the separation of variables t_j and t_p was based on the assumption that the distance of 8 km corresponds to the distance from the interval [8, 9]. The results of the simulation together with empirical data from the years 2010 and 2011 are summarised in table 8.

Test modelu

Testy modelu przeprowadzono porównując wyniki otrzymane w wyniku symulacji opartej na danych z roku 2009 (a w przypadku zmiennych t_{bc} i t_{cd} na podstawie danych z lat 2007–2009), z danymi empirycznymi z lat 2010 i 2011. Do przeprowadzenia pełnych symulacji niezbędny jest opis procesu generującego przestrzenny rozkład zdarzeń, którego nie przedstawiono w niniejszym artykule. Dlatego też skupiono się jedynie na aspekcie określenia obszaru operacyjnej odpowiedzialności zespołów ratowniczych.

Wielkość tego obszaru definiujemy poprzez określenie odległości zdarzeń od siedziby zespołów ratowniczych zapewniającej, z zadaniem prawdopodobieństwem (np.: 0,8), dotarcie zespołów ratowniczych do tych miejsc w zadany czas. Przyjmijmy, że czasem granicznym zapewniającym skuteczność działań ratowniczych jest 20 min. Do symulacji przyjęto zestaw danych ujętych w tabeli 7, gdzie:

t_d – czas reakcji dyspozytora;

t_j – czas pokonania 1 km;

t_p – czas przygotowania zespołu ratowniczego do wyjazdu.

Do przeprowadzenia symulacji zastosowano arkusz kalkulacyjny Microsoft Office 2013. Losowano 500 realizacji wskazanych w tabeli 8 zmiennych. Realizacje zmiennej t_j losowano według uciętego rozkładu normalnego. Dolną granicę ucięcia przyjęto na poziomie 30 km/h (wartość zmiennej – 1,71 min/km), górną zaś na poziomie 70 km/h (wartość zmiennej – 1 min/km). Należy w tym miejscu przypomnieć, że rozdzielenia zmiennych t_j i t_p dokonano przy założeniu, że odległość 8 km odpowiada odległości z przedziału [8, 9]. Wyniki symulacji wraz z danymi empirycznymi z lat 2010 i 2011 zestawiono w tabeli 8.

Table 7. Set of parameters of normal distributions used for the simulation

Tabela 7. Zestaw parametrów rozkładów normalnych przyjętych do symulacji

Parameter Parametr	Variable / Zmienna		
	ln(tD)	tJ	tP
Expected value Wartość oczekiwana	1.01	1.23	4.97
Standard deviation Odchylenie standardowe	0.39	1.023	0.741

Source: Summary of data from the article.

Źródło: Zestawienie danych z artykułu.

Looking at the simulations, it can be concluded that the boundaries of the operational responsibility area for the State Fire Brigade team under study should be at a distance of no more than 8 km from the headquarters. This guarantees that the rescue team will arrive to the responsibility area boundary in no more than 20 minutes from when the dispatcher receives the call in at least 80% of cases. As presented in table 8, defining this distance based on empirical data can be difficult due to data scarcity. However, combining data from a large number of years is not recommended due to changes in traffic conditions

Z przeprowadzonych symulacji wynika, że granice obszaru operacyjnej odpowiedzialności dla badanej jednostki PSP powinny znajdować się w odległości nie większej niż 8 km od jej siedziby. Gwarantuje to dotarcie zespołów ratowniczych do granicy obszaru odpowiedzialności w czasie nie dłuższym niż 20 min od przyjęcia zgłoszenia przez dyspozytora, co najmniej w 80% przypadków. Jak wynika z tabeli 8, wyznaczenie tej odległości na podstawie danych empirycznych może nastęrczać trudności ze względu na zbyt małą ilość danych. Z kolei łączenie danych z dużej liczby lat nie jest wskazane ze względu na zmiany warunków komunikacyj-

(road improvements, alterations, new roads). Therefore, the proposed method of simulation can be very useful, especially to investigate the correctness of the distribution of individual teams.

In order to run more reliable simulations, the database should record the time taken by the rescue teams to prepare for departure. This way, the time taken to prepare for departure and to cover 1 km could be described much more reliably using a log-normal distribution. Approximation using such distributions requires the availability of separate empirical data.

nych (poprawę nawierzchni dróg, ich przebudowę, czy też powstanie nowych). Dlatego też zaproponowany sposób symulacji może być bardzo użyteczny, zwłaszcza jeżeli zastanawiamy się nad poprawnością rozmieszczenia poszczególnych jednostek.

Do prowadzenia bardziej rzetelnych symulacji należałoby zapisywać w bazie danych czas wyjazdu zespołu ratowniczego do zdarzenia. Wówczas czas przygotowania do wyjazdu oraz pokonania jednego kilometra można by opisać znacznie lepiej rozkładem logarytmicznie normalnym. Aproksymacja takimi rozkładami wymaga posiadania odrębnych danych empirycznych.

Table 8. The probability that the rescue team arrives at the scene in no more than 20 minutes – a comparison of simulation results and empirical data

Tabela 8. Prawdopodobieństwo dotarcia zespołu ratowniczego na miejsce zdarzenia w czasie nie dłuższym niż 20 min – porównanie wyników symulacji oraz danych empirycznych

Distance / Odległość	Empirical data from 2010 Dane empiryczne z roku 2010			Empirical data from 2011 Dane empiryczne z roku 2011			Empirical data from 2010 and 2011 Dane empiryczne z lat 2010-2011 łącznie			Results of simulation P(T ≤ 20) Wyniki symulacji P(T ≤ 20)
	Arrival time T > 20 min. Czas dotarcia T > 20 min	All departures Wszystkie wyjazdy	P(T ≤ 20)	Arrival time T > 20 min. Czas dotarcia T > 20 min	All departures Wszystkie wyjazdy	P(T ≤ 20)	Arrival time T > 20 min. Czas dotarcia T > 20 min	All departures Wszystkie wyjazdy	P(T ≤ 20)	
4	4	28	0.86	4	24	0.83	8	52	0.85	1.00
5	2	15	0.87	1	8	0.88	3	23	0.87	1.00
6	8	23	0.65	0	17	1.00	8	40	0.80	0.99
7	5	32	0.84	1	11	0.91	6	43	0.86	0.96
8	4	36	0.89	2	12	0.83	6	48	0.88	0.82
9	9	19	0.53	1	5	0.80	10	24	0.58	0.63
10	5	16	0.69	1	3	0.67	6	19	0.68	0.42

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Conclusions

The method of approximating the duration of individual emergency-response stages using theoretical distributions of random variables, as presented in this article, is largely consistent with the empirical data. It also allows to predict how the system will work in the short-term (over a time span of several years). The predictive property of such modelling can be used to optimise the deployment and to determine the capabilities of individual rescue teams. A model of spatial distribution of events requiring rescue operations should be additionally designed to fully utilise the potential of this model. Such a model has been designed as part of the same project. However, due to space constraints, this could not be presented in this article. This obviously made it impossible to present the full functionality of the emergency response model. It includes the following:

- determining operational responsibility areas of individual rescue teams;

Zakończenie

Wskazany w niniejszym artykule sposób aproksymacji czasu trwania poszczególnych etapów procesu reagowania służb ratowniczych, teoretycznymi rozkładami zmiennych losowych, jest w znacznym stopniu zgodny z danymi empirycznymi. Pozwala również na przewidywanie działania tego systemu w krótkiej (kilkuletniej) perspektywie czasowej. Własność predykcyjna takiego modelowania może być wykorzystana do optymalizacji rozmieszczenia i określenia potencjału poszczególnych jednostek ratowniczych. Do pełnego wykorzystania tego modelu należy jeszcze skonstruować model przestrzennego pojawiania się zdarzeń wymagających prowadzenia działań ratowniczych. Model taki został również skonstruowany w ramach tego samego projektu, jednakże ze względu na limity objętościowe artykułu nie mógł być zaprezentowany. To oczywiście możliwość zaprezentowania pełnej funkcjonalności modelu reagowania służb ratowniczych. Zaliczyć do niej możemy:

- determining the stationing locations of individual rescue teams as necessitated by the spatial density of events requiring rescue operations;
- assessing readiness to act of individual teams and units (groups of teams);
- adjusting the capabilities of rescue teams to the number and type of events requiring response;
- assessing the availability of rescue teams – one of the elements determining their capabilities;
- supporting the decision-making processes of the emergency services.

It is very labour-intensive to do calculations (parameter estimation and selection of theoretical distributions) and simulations to solve the problem at hand using only statistical software. In addition, this may be economically unreasonable in the long term.

The article only took into consideration one rescue team. Assuming that there are 40 such teams dispersed over the area of an administrative unit, the number of mathematical operations would be unimaginably large. Therefore, it would be recommended to develop a computer program able to do all these simulations and present them in a user-friendly graphical form.

It would be extremely helpful if the data for that program could be automatically downloaded from the decision support system of the emergency services, e.g.: from the SWD- ST 2.5 system. It would be even better if this new software became part of the decision support system used today. It seems that such a solution is a natural evolutionary step for decision support systems. However, this would require introducing certain changes, not only in the existing software, but also in the mentality of rescuers and dispatchers.

Designing such systems and changing the mentality of their users should improve the efficiency of the emergency services in the sense of better performance at lower costs. This includes primarily shorter rescue-team arrival times, and more effective help provided to the victims.

- wyznaczanie obszarów operacyjnej odpowiedzialności poszczególnych jednostek ratowniczych;
- wyznaczanie miejsc stacjonowania poszczególnych jednostek adekwatnie do przestrzennej gęstości zdarzeń wymagających działań ratowniczych
- ocenę gotowości operacyjnej poszczególnych zespołów i jednostek (grup zespołów);
- dopasowanie potencjału jednostek ratowniczych do ilości i rodzaju zdarzeń wymagających ich reakcji;
- ocenę dostępności zespołów ratowniczych – stanowi ona jeden z elementów określania ich potencjału;
- wspomaganie procesu decyzyjnego dysponentów służb ratowniczych.

Prowadzenie obliczeń (estymacja parametrów i dobór rozkładów teoretycznych) oraz symulacji pozwalających na rozwiązywanie powyższych problemów z wykorzystaniem jedynie oprogramowania statystycznego jest bardzo uciążliwe i w dłuższej perspektywie czasowej może być ekonomicznie nieuzasadnione. W artykule rozważano tylko jeden zespół ratowniczy. Przy założeniu, że takich zespołów na terenie jednostki administracyjnej jest 40, ilość operacji matematycznych urasta do wprost niewyobrażalnej liczby. Dlatego też wskazanym byłoby opracowanie programu komputerowego, który byłby zdolny do przeprowadzenia wszystkich symulacji i zaprezentowania ich w przyjaznej dla odbiorcy formie graficznej. Ogromnym ułatwieniem byłoby, gdyby dane do tego programu mogły być automatycznie pobierane z systemu wspomaganie decyzji dysponenta służb ratowniczych, np.: z systemu SWD- ST 2.5. Jeszcze lepsze efekty przyniosłoby włączenie nowego oprogramowania do wykorzystywanego dziś systemu wspomaganie decyzji. Wydaje się, że takie rozwiązanie jest normalną drogą ewolucji systemów wspomaganie decyzji. Wymaga to jednak dokonania pewnych zmian nie tylko w obecnym oprogramowaniu, ale również w mentalności ratowników i dyspozytorów.

Budowa podobnych systemów i zmiana mentalności ich użytkowników ma służyć poprawie efektywności działania służb ratowniczych, rozumianej jako osiąganie większych efektów przy niższych nakładach ekonomicznych. Zalicza się tu przede wszystkim krótszy czas dotarcia ratowników na miejsce zdarzenia oraz skuteczniejsza pomoc poszkodowanym.

Literature / Literatura

- [1] Johnson N. L., Kotz S., Balakrishnan N., *No 14: Lognormal Distributions*, in: *Continuous univariate distributions. Vol. 1, Wiley Series in Probability and Mathematical Statistics: Applied Probability and Statistics (2nd ed.)*, John Wiley & Sons, New York 1994.
- [2] Kielin J., Wojtasiak B., Mazur J., Bąk D., Bujny P., *Wstępny model ustalania wskaźnika gotowości operacyjnej JR – JRG i OSP*, w: *Projektowanie systemu ratowniczego*, J. Zboina, J. Kielin (red.), Wyd. CNBOP-PIB, Józefów 2015.
- [3] Prońko J., Kielin J., Wojtasiak B., *Przestrzenna analiza zagrożeń na podstawie danych historycznych*, BITP Vol. 39 Issue 3, 2015, 77–93, <https://doi.org/10.12845/bitp.39.3.2015.7>.
- [4] Prońko J., Kielin J., Wojtasiak B., *Klasyfikacja zdarzeń na podstawie danych historycznych*, BITP Vol. 39 Issue 3, 2015, 93–111, <https://doi.org/10.12845/bitp.39.3.2015.8>.
- [5] Trocki M., Grucza B., Ogonek K., *Zarządzanie projektami*, PWE, Warszawa 2003.
- [6] Ustawa z dnia 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym (Dz. U. 2006 Nr 191, poz. 1410 z późn. zm.).
- [7] Wawrzynek J., *Metody opisu i wnioskowania statystycznego*, Wyd. AE im. Oskara Langego, Wrocław 2007.
- [8] Wojtasiak B., Mazur J., Bąk D., Bujny P., *Analiza czasu podejmowania Pierwszej Pomocy Ratowniczej przez zespoły ratownicze*, w: *Projektowanie systemu ratowniczego*, J. Zboina, J. Kielin (red.), Wyd. CNBOP-PIB, Józefów 2015.

JAROSŁAW PROŃKO, D.SC. – Professor Extraordinarius at the Institute of Management of the Jan Kochanowski University in Kielce. He graduated from the Kielce University of Technology and the National Defence University of Warsaw. He is a former officer of the Vistula Military Units. He participated in the flood operations of 1997, for which he was awarded the Cross of Merit for Bravery. Between 1998 and 2001 he worked as Chief Expert at the Defence Affairs Office of the Ministry of Interior and Administration. He has authored and co-authored many publications on national defence, crisis management, and a number of subjects related to decision making and risk analysis in the field of public security.

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

BEATA WOJTASIAK, M.A. – she graduated from the Maria Grzegorzewska University in Warsaw. In 2013 she completed a post-Master's programme in Innovation Management at the Warsaw School of Economics. Currently, she is working CNBOP-PIB Technical Assessment Department.

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

MARTA IWAŃSKA, M.A. – she graduated from Collegium Civitas in Warsaw, Faculty of Social Sciences, majoring in Non-Governmental Organisation Management. She works as an engineering expert for standardisation at the Certification Department of CNBOP-PIB.

DR HAB. JAROSŁAW PROŃKO – profesor nadzwyczajny Instytutu Zarządzania Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Absolwent Politechniki Świętokrzyskiej i AON. Były oficer Nadwiślańskich Jednostek Wojskowych. Uczestnik akcji przeciwpowodziowej w 1997 r. – odznaczony Krzyżem Zasługi za Dzielność. W latach 1998–2001 główny specjalista w Biurze Spraw Obronnych MSWiA. Autor i współautor wielu prac z zakresu bezpieczeństwa powszechnego, zarządzania kryzysowego, problematyki podejmowania decyzji oraz analizy ryzyka w obszarze bezpieczeństwa powszechnego.

ST. BRYG. DR INŻ. JACEK ZBOINA – Z-ca Dyrektora ds. Certyfikacji i Dopuszczeń CNBOP-PIB. Absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie oraz Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni. Rzeczoznawca Komendanta Głównego PSP ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych.

Jego zainteresowania badawcze oraz praca zawodowa obejmują: bezpieczeństwo, ochronę przeciwpożarową, techniczne systemy zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz ocenę zgodności. Autor i współautor kilkudziesięciu publikacji naukowych oraz branżowych w zakresie bezpieczeństwa, ochrony przeciwpożarowej, technicznych systemów zabezpieczeń, badań, testowania i certyfikacji wyrobów, a także wykorzystania w praktyce nowych technologii i tworzenia innowacji. W działalności badawczej i zawodowej uczestniczy w pracach w projektach badawczych i badawczo-rozwojowych – zarówno w roli wykonawcy, jak i kierownika.

MGR BEATA WOJTASIAK – absolwentka Akademii Pedagogiki Specjalnej w Warszawie. W 2013 r. ukończyła studia podyplomowe Menedżer Innowacji w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie. Obecnie pracuje w Zakładzie Ocen Technicznych CNBOP-PIB.

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

MGR MARTA IWAŃSKA – absolwentka Collegium Civitas w Warszawie na Wydziale Socjologii, kierunek zarządzanie organizacjami pozarządowymi. Specjalista inżynierowo-techniczny ds. normalizacji Jednostki Certyfikującej CNBOP-PIB.

Mariusz Maślak, Ph.D., D.Sc., prof. CUT^{a)*}; Piotr Woźniczka, Ph.D.^{a)}

^{a)} Cracow University of Technology / Politechnika Krakowska

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: mmaslak@pk.edu.pl

Numerically Simulated Structural Response of a Bearing Steel Frame with Joints of Varying Stiffness to Fully Developed Fire Conditions

Symulowana numerycznie reakcja na pożar rozwinięty stalowej ramy nośnej z węzłami o różnej sztywności

ABSTRACT

Aim: This paper examines the responses of load-bearing steel frames to direct fire exposure and the associated impact of the monotonically increasing temperature of its components. For comparative purposes, the authors analysed in detail specific frames with beam-to-column joints differing in rigidity. Depending on whether there are stiffening ribs present and, if so, on where they are located, the fire resistance of the considered structural component is determined by the actual damage patterns. These can be manifested as local instability in the column web or as damage to the column flange or beam flange. The design of the joint is also one of the factors determining the redistribution of internal forces generated in the frame components when subjected to fire conditions.

Methods: The authors identified, discussed and compared the dependencies determining the relationships between the temperature of the frame components, and the bending moments and axial forces induced in these components during a fire. These relationships were identified through a detailed analysis of a numerical example, in which the fire behaviour of three similar steel frames, differing in terms of their beam-to-column joint rigidity, was examined. In the first analysed case, a joint without any ribbing was examined, in the second case, a joint with horizontal ribs, and in the third case, a joint with horizontal and diagonal ribs. The relationships listed above are accompanied by corresponding the relationships specifying the dependencies between steel temperature and frame beam deflection. In addition, the analysis considers flexible supports with different rigidity to model the resistance of the columns to horizontal joint displacement.

Results: It has been shown that the analysed types of the examined frame exhibit substantial differences in their predicted structural responses if the joints used in them and exposed to fire differ in rigidity. The identification of these differences and their qualitative and quantitative description constitute the main objective of this work.

Conclusions: Frame behaviour under fire conditions is determined not only by frame geometry and the size of its structural members, designed to be able to fully bear their respective loads, but also, to the same extent, by the susceptibility to deformation of the bearing structure itself and the joints connecting the component structural members.

Keywords: steel frame, fire, temperature, joint susceptibility, displacement, redistribution of internal forces

Type of article: original scientific article

Received: 25.06.2019; Reviewed: 14.08.2019; Accepted: 28.08.2019;

Authors' ORCID IDs: M. Maślak – 0000-0003-3592-429X; P. Woźniczka – 0000-0002-5471-9526;

The authors contributed the equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 32–45, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.2>;

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

ABSTRAKT

Cel: W artykule autorzy analizowali sposób reakcji stalowej ramy nośnej na bezpośrednią ekspozycję ogniową oraz towarzyszący jej monotoniczny wzrost temperatury elementów badanej ramy. W celach porównawczych rozpatrzono ramy z węzłami typu rygiel – słup o różnym stopniu podatności. W zależności od tego, czy węzeł jest uźebrowany i jak ewentualne żebra są rozmieszczone, o odporności ogniowej badanego ustroju nośnego decyduje inny sposób zniszczenia. Może to być zarówno lokalna utrata stateczności środniczki słupa, jak i zniszczenie pasa ryglu lub pasa słupa. Sposób konstrukcji węzła determinuje również schemat redystrybucji sił wewnętrznych generowanych w warunkach pożaru w elementach ramy.

Metody: W pracy zidentyfikowano i porównano odpowiednie zależności specyfikujące relacje pomiędzy temperaturą elementów ramy a indukowanymi w tych elementach momentem zginającym i siłami osiowymi. Zależności te uzyskano po szczegółowej analizie przykładu numerycznego, w którym badano zachowanie w warunkach pożaru trzech odpowiadających sobie ram stalowych, przy czym w każdej z tych ram zastosowano węzły o innej sztywności. W pierwszym przypadku były to węzły z nieuźebrowanym środniczkiem, w drugim – ze środniczkiem uźebrowanym jedynie przez wykorzystanie żeber poziomych, w trzecim natomiast – węzły z żebrami poziomymi i żebrem ukośnym. W analizie dodatkowo zróznicowano sztywność podparcia sprężystego modelującego podatność słupów ramy na poziome przemieszczenie węzłów.

Wyniki: Uzyskane wyniki potwierdziły oczekiwany wniosek: w początkowej fazie pożaru w ryglach ramy dominuje ściskanie, co przekłada się na rozpychanie węzłów. Ze wzrostem temperatury elementów coraz większego znaczenia nabiera jednak wpływ narastającego ugięcia rygla, co w efekcie generuje postępujący zanik osiowej siły ściskającej. To z kolei powoduje ściągnięcie węzłów ramy do jej wnętrza. Tego typu ogólny schemat zachowania się ramy w pożarze ma jednak zasadniczo różny przebieg, jeśli tylko węzły ramy wykazują różną sztywność. Specyfikacja tych różnic oraz ich jakościowy i ilościowy opis są podstawowym celem prezentowanej pracy.

Wnioski: Zachowanie się w pożarze rozwiniętym stalowej ramy nośnej warunkowane jest przez jej geometrię oraz rozmiary kształtujących ją elementów konstrukcyjnych o przekrojach zaprojektowanych tak, aby elementy te były zdolne do przenoszenia przyłożonych do nich obciążeń. W równym stopniu istotna jest podatność na deformacje zarówno samego ustroju nośnego, jak i poszczególnych węzłów scalających ten ustrój.

Słowa kluczowe: rama stalowa, pożar, temperatura, podatność węzłów, przemieszczenie, redystrybucja sił wewnętrznych

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 25.06.2019; **Zrecenzowany:** 14.08.2019; **Zatwierdzony:** 28.08.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Maślak – 0000-0003-3592-429X; P. Woźniczka – 0000-0002-5471-9526;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 32–45, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.2>;

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

Introduction

The fire resistance of a bearing steel frame can only be reliably assessed if the design is considered as a whole rather than in terms of its individual, conceptually isolated components, such as girders or columns. This allows for an equivalent specification of functionally homogeneous structural subcomponents with clearly defined loading diagrams determining how they affect the other components of the structure [1]. The behaviour of bearing steel frames during a fully engulfed fire is determined by their geometric layout and dimensions of their structural components whose sections have been designed to make such components capable of bearing their respective loads. The susceptibility of the bearing structure to deformation is as important as that of its individual joints.

What makes analysing this unique fire design situation even more complex is the fact that this susceptibility varies along with the increase in frame component temperature, which is associated with fire development. However, the restricted freedom of thermal deformations produced by the fire, and resulting from the thermal expansion of steel, causes the structural components of such frames to generate additional internal forces. These forces often act as a decisive factor in the balance of all impacts that determine the ultimate response of the frame to its expected fire exposure, especially when this freedom of deformation is significantly restricted [2]. The goal of this paper is to describe the qualitative and quantitative differences in the behaviour of a typical bearing steel frame substructure, as these differences manifest themselves through different translational susceptibility values describing horizontal loads on the other parts of the frame, and through different rotational susceptibility values for beam-to-column joints resulting from their distinct designs (and, consequently, distinct load resistance/stiffening, as a result of employing, or not employing, various types of stiffener ribs).

Wprowadzenie

Ocena odporności ogniowej stalowej, ramowej konstrukcji nośnej będzie wiarygodna tylko wtedy, gdy szczegółowej analizie poddana zostanie konstrukcja jako całość, nie zaś jedynie pojedyncze, myślowo wyizolowane z niej elementy, takie jak rygle lub słupy. Dopuszcza się przy tym zastępczą specyfikację funkcjonalnie jednorodnych podukładów konstrukcyjnych o jednoznacznie ustalonym schemacie statycznym determinującym sposób oddziaływania na pozostałe części ustroju [1]. Zachowanie się w pożarze rozwiniętym stalowej ramy nośnej warunkowane jest przez jej geometrię oraz rozmiary kształtujących ją elementów konstrukcyjnych o przekrojach zaprojektowanych tak, aby elementy te były zdolne do przenoszenia przyłożonych do nich obciążeń. W równym stopniu istotna jest podatność na deformacje zarówno samego ustroju nośnego, jak i poszczególnych węzłów scalających ten ustrój.

Analizę odniesioną do wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru rozwiniętego komplikuje przy tym zmienność tego rodzaju podatności wraz z narastającą z rozwojem pożaru temperaturą elementów ramy. Zawsze jednak ograniczenie swobody realizacji powstających w pożarze odkształceń termicznych będących oczywistym efektem rozszerzalności cieplnej stali skutkuje generowaniem się w elementach konstrukcyjnych rozpatrywanej ramy dodatkowych sił wewnętrznych. Siły tego typu są często czynnikiem decydującym w bilansie wszystkich oddziaływań wpływających na efektywną odpowiedź ramy na prognozowaną dla niej ekspozycję ogniową, zwłaszcza wtedy, gdy stopień ograniczenie swobody deformacji jest odpowiednio duży [2]. Celem niniejszej pracy jest pokazanie jakościowych i ilościowych różnic w zachowaniu się w warunkach pożaru typowego podukładu konstrukcyjnego stalowej ramy nośnej, które ujawniają się przy różnych wartościach podatności translacyjnej ilustrującej oddziaływanie poziome pozostałych części badanej ramy, a także przy różnych wartościach podatności obrotowej węzłów rygiel – słup, wynikających z ich odmiennego ukształtowania (a zatem i usztywnienia wskutek zastosowania lub braku zastosowania w ich konstrukcji różnego typu żeber usztywniających).

Description of the analysed frame

This paper will focus on analysing how a specific steel frame substructure behaves during a fire. The steel's geometric layout, loading diagram and imposed loading are presented in figure 1. All frame components are assumed to have been made of steel S235. Fire exposure of the analysed frame results in simultaneous heating of all its components, with the steel temperature distribution being even at any point throughout the fire, both lengthwise and crosswise. Obviously, the reliable temperature at any point during the fire, which is even across all the analysed frame components, varies over time as the fire develops. This approach to fire exposure is, undoubtedly, an oversimplified one. In reality, the temperature of steel components with different cross-sections always rises in an irregular fashion, even if such components are exposed to combustion gases with an identical temperature. This is due to the different values of what is known as the exposure rating, which is the ratio of the heated circumference of the analysed component's cross-section to the surface of that cross-section. Nevertheless, this simplification is of no relevance for the purposes of achieving the goal set in this work.

Opis ramy analizowanej w przykładzie

Przedmiotem szczegółowej analizy jest zachowanie się w pożarze stalowego podukładu ramowego o geometrii, schemacie statycznym i sposobie obciążenia zewnętrznego pokazanych na rycinie 1. Zakłada się, że wszystkie elementy ramy wykonano ze stali S235. Ekspozycja pożarowa analizowanej ramy skutkuje jednoczesnym ogrzaniem wszystkich składających się na nią elementów, przy czym rozkład temperatury stali jest w każdej chwili pożaru równomierny zarówno po długości tych elementów, jak i w ich przekrojach poprzecznych. Oczywiście miarodajna wartość temperatury w każdej chwili pożaru jednolita dla wszystkich rozpatrywanych składników ramy, zmienia się z czasem wraz z rozwojem pożaru. Taki schemat oddziaływania pożaru stanowi niewątpliwie uproszczenie. W rzeczywistości temperatura elementów stalowych o różnym przekroju poprzecznym narasta zawsze w sposób zróżnicowany, nawet gdy otaczają je gazy spalinyowe o identycznej temperaturze. Wynika to z różnych wartości tak zwanego wskaźnika ekspozycji, którego miarą jest stosunek nagrzewanego obwodu przekroju poprzecznego rozpatrywanego elementu do powierzchni tego przekroju. Tego typu uproszczenie jest jednak bez znaczenia dla osiągnięcia celu założonego przez autorów niniejszej pracy.

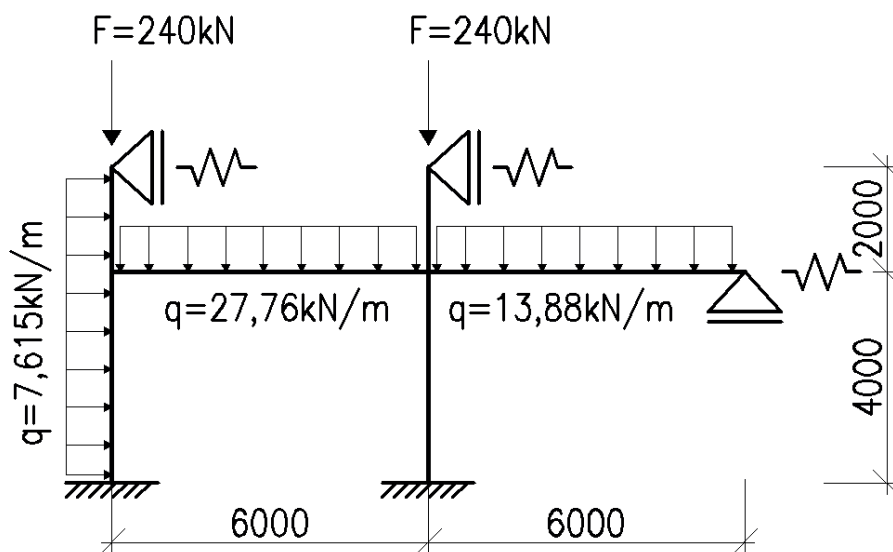


Figure 1. An outline of the frame under consideration

Rycina 1. Schemat ramy rozpatrywanej w pracy

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The columns of the examined frame were made of cross runner HEA240, while girts were made of I-beam IPE300. As can be seen, the analysed frame used two beam-to-column joint, a unilateral one next to the edge/end left column of the frame, and a bilateral one next to an intermediate column. For comparative purposes, the presented example considers three different design options for these joints. These are (fig. 2):

Słupy ramy rozpatrywanej w przykładzie wykonano z kształtownika HEA240, natomiast rygle – z dwuteownika IPE300. Jak łatwo zauważyć, w analizowanej ramie zastosowano dwa węzły rygiel-słup, odpowiednio jednostronny w sąsiedztwie lewego skrajnego słupa ramy i dwustronny przy słupie pośrednim. W celach porównawczych w niniejszym przykładzie zakłada się trzy różne warianty konstrukcji tego typu węzłów. Są to kolejno (ryc. 2):

- joint “A” (fig. 2a) – a fillet-welded joint with no web stiffeners,
- joint “B” (fig. 2b) – joint “A” with additional horizontal web stiffeners placed at the levels corresponding to beam flanges,
- joint “C” (fig. 2c) – joint “B” with an additional stiffener placed diagonally to the other stiffeners.

The initial stiffness of each joint type was determined on the basis of separate calculations. The computed values were as follows:

- for joint “A”: $S_{ini}^A = 14753 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$,
- for joint “B”: $S_{ini}^B = 31950 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$,
- for joint “C”: $S_{ini}^C \gg 103000 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$,

which means that this joint is nominally rigid.

- węzeł typu „A” (ryc. 2a) – jest to węzeł spawany na spoiny pachwinowe, bez zastosowania jakichkolwiek żeber usztywniających środnik słupa,
- węzeł typu „B” (ryc. 2b) – jest to węzeł typu „A” uzupełniony o poziome żebra usztywniające środnik słupa, umieszczone w poziomach odpowiadających położeniu pasów rygli,
- węzeł typu „C” (ryc. 2c) – jest to węzeł typu „B” uzupełniony o dodatkowe żebro zorientowane diagonalnie względem poprzednich.

Początkową sztywność poszczególnych wariantów węzła wyznaczono na podstawie odrębnych obliczeń. Otrzymano odpowiednio:

- dla węzła typu „A”: $S_{ini}^A = 14753 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$,
- dla węzła typu „B”: $S_{ini}^B = 31950 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$,
- dla węzła typu „C”: $S_{ini}^C \gg 103000 \frac{\text{kN} \cdot \text{m}}{\text{rad}}$,

co oznacza, że węzeł jest nominalnie sztywny.

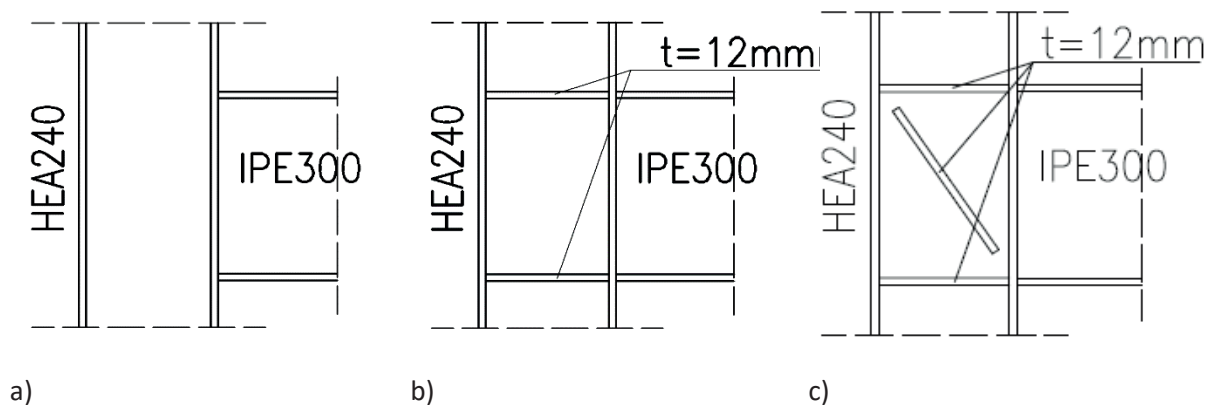


Figure 2. Joint types under consideration. From the left: a) joint “A” b) joint “B” c) joint “C”

Rycina 2. Typy węzłów analizowane w tekście. Od lewej: a) węzeł typu „A” b) węzeł typu „B” c) węzeł typu „C”

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The columns of the examined frame were rigidly fixed in the foundation. Their upper ends can only move freely vertically, which allows their unlimited thermal extension (fig. 1). It was also assumed that all frame components were effectively secured against lateral torsional buckling throughout the fire so that the frame would only be subject to in-plane buckling while any out-of-plane buckling would be disregarded. The effects of the other parts of the frame on the structural subsystem, as analysed here in detail, were modelled by adding to all the supports considered as roller supports the springs placed horizontally to constrain horizontal movement (fig. 1). This way the frame’s girt is no longer able to freely extend as a result of heat, while the upper ends of both columns are also, to some extent, able to move horizontally. This detailed analysis considers three inde-

Słupy badanej ramy są sztywno utwierdzone w fundamentach. Ich górne końce mają możliwość swobodnego przemieszczania się jedynie w kierunku pionowym, co pozwala na ich nieskrępowane wydłużenie termiczne (ryc. 1). Założono również, że wszystkie elementy ramy są przez cały czas pożaru skutecznie zabezpieczone przed zwichnięciem, tak że rama będzie deformować się jedynie w swojej płaszczyźnie (*in-plane buckling*), natomiast ewentualne deformacje w kierunku prostopadłym do tej płaszczyzny (w tym także *out-of-plane buckling*) będą pomijane. Oddziaływanie pozostałych części ramy na rozpatrywany szczegółowo podukład konstrukcyjny w niniejszym przykładzie zamodelowano przez dodanie do wszystkich podpór traktowanych jako więzy przegubowo przesuwne usytuowanych poziomo sprężyn ograniczających swobodę przemieszczeń poziomych (ryc. 1). W ten sposób rygiel ramy traci

pendent design scenarios that differ in terms of the stiffness of the springs installed. These are:

- Scenario “a”, in which the stiffness of all horizontal springs is assumed to be infinite, so $k_i^a = \infty$
- Scenario “b”, in which the stiffness of each of the horizontal springs is assumed to be finite at $k_i^b = 0.58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$,
- Scenario “c”, in which the stiffness of each of the horizontal springs is assumed to be finite, but lower than in Scenario “b”, at $k_i^c = 0.38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$.

Behaviour of the examined frame during a fully engulfed fire

Description of the material used

In order to examine how the above-mentioned frame behaves when directly exposed to fire, given these different beam-to-column design options and scenarios for the structural steel of which all frame components were made, the classical elastic-elliptical-perfectly plastic model of behaviour during a fire was adopted in line with EN 1993-1-2 recommendations [3]. This is associated with a specific approach that takes into consideration the joint stiffness resulting from the increasing temperature of joint components. This reduction was quantified in proportion to the decreasing linear elasticity of steel $E_{a,\theta}$, where θ is the temperature of steel.

Frame deformation analysis

The deformations resulting from the exposure of the frame to a fire are usually similar in qualitative terms, regardless of the joint design option or scenario. Where they differ significantly, however, is their expected movement. Figure 3 shows examples of deformations produced at successive moments throughout the fire for joints “C” and scenario “a” (solution “C-a”). The computations were made using ANSYS software [4].

It can be easily noticed that during the initial stage of the fire, as the steel temperature rises, the girt is made to expand and push the columns away which, in turn, generates axial compression force in that girt. But, over time, as temperature becomes much higher, the flexural stiffness of the girt is so low that its resistance to growing deflection crumbles. This large deflection, in turn, causes the joints within the frame to be pulled inwards, which compensates more and more effectively for the axial compression of the girt. Finally, while this girt, although significantly weakened during the fire, is still able to transfer loads, the axial compression force that has been previously generated inside it dissipates completely and the girt enters the axial ten-

sną swobodę realizacji termicznie indukowanego wydłużenia, natomiast górne końce obu słupów ramy zyskują ograniczoną możliwość przemieszczania się również w kierunku poziomym. W szczegółowej analizie rozpatruje się trzy niezależne sytuacje projektowe różnicowane sztywnością założonych sprężyn. Są to kolejno:

- sytuacja „a”, dla której zakłada się, że sztywność wszystkich poziomych sprężyn jest nieskończona, a zatem $k_i^a = \infty$,
- sytuacja „b”, dla której przyjęto, że sztywność każdej z założonych poziomych sprężyn jest skończona, ale większa i wynosi $k_i^b = 0,58 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$,
- sytuacja „c”, dla której przyjęto, że sztywność każdej z założonych poziomych sprężyn jest skończona, ale mniejsza niż w sytuacji „b”, i wynosi jedynie $k_i^c = 0,38 \frac{\text{N}}{\text{mm}^3}$.

Zachowanie się badanej ramy w pożarze rozwiniętym

Charakterystyka zastosowanego materiału

W celu zbadania, jak zdefiniowana powyżej rama zachowa się w warunkach bezpośredniej ekspozycji ogniowej, przy różnych wariantach konstrukcji węzłów rygiel–słup i w różnych sytuacjach projektowych, dla stali konstrukcyjnej, z której zostały wykonane wszystkie elementy ramy, założono klasyczny sprężysto–eliptyczny–idealnie plastyczny model zachowania się w pożarze, zgodny z rekomendacjami normy EN 1993-1-2 [3]. Z założeniem tym wiąże się sposób uwzględniania redukcji sztywności węzłów, będącej skutkiem narastającej temperatury ich składników. Redukcję tę kwantyfikowano proporcjonalnie do malejącej wartości współczynnika liniowej sprężystości stali $E_{a,\theta}$, gdzie θ jest temperaturą tej stali.

Analiza deformacji ramy

Jakościowy charakter deformacji będących skutkiem oddziaływającej na ramę ekspozycji ogniowej jest na ogół podobny, niezależnie od tego, jaki wariant konstrukcji węzła jest zastosowany oraz która z wyspecyfikowanych powyżej sytuacji projektowych jest brana pod uwagę. Różnią się za to znacząco wartości prognozowanych przemieszczeń. Na rycinie 3 pokazano przykładowe deformacje uzyskane w kolejnych momentach pożaru po zastosowaniu węzłów typu „C” oraz przy analizie sytuacji projektowej „a” (rozwiązanie „C-a”). Obliczenia numeryczne przeprowadzono przy pomocy programu ANSYS [4].

Łatwo zauważyć, że w początkowej fazie pożaru rygiel ramy wydłużający się wraz z narastającą temperaturą stali rozpycha słupy, co skutkuje generowaniem się w tym ryglu osiowej siły ściskającej. Z czasem jednak, przy znacząco wyższej temperaturze elementów, sztywność giętna rygla jest już na tyle mała, że słabnie jego opór wobec rosnącego przyrostu ugięcia. Duże ugięcia powodują z kolei ściągnięcie węzłów ramy do wewnątrz, a to coraz efektywniej kompensuje osiowe ściskanie rygla. W końcu, o ile rozpatrywany rygiel – bardzo już osłabiony w po-

sion phase. Obviously, girt deflection during a fire depends on the design of beam-to-column joint within the frame. The differences in deflection between solutions „A-a”, „B-a” and „C-a” are presented in figure 4.

żarze – jest nadal zdolny do przenoszenia obciążeń, generowana w nim wcześniej osiowa siła ściskająca całkowicie zanika i rozpoczyna się faza jego osiowego rozciągania. Oczywiście, realizowane w pożarze ugięcie ryglu zależy od tego, jak w rozpatrywanej ramie skonstruowane są węzły rygiel-słup. Różnice w wartościach ugięcia otrzymanych kolejno dla rozwiązań „A-a”, „B-a” i „C-a” zaprezentowano na rycinie 4.

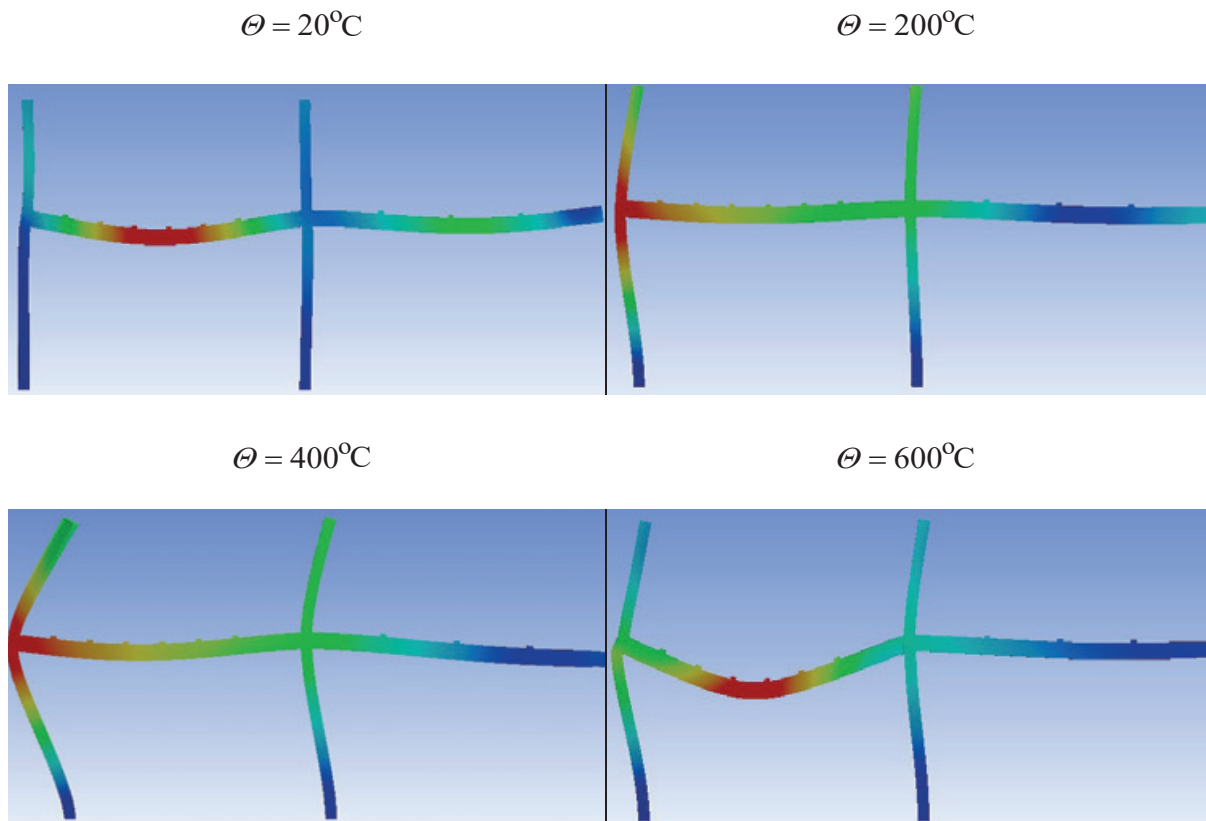


Figure 3. Deformations of the frame substructure under consideration, occurring at subsequent stages of the fire, based on analysing solution „C-a” (described in the text)

Rycina 3. Deformacje rozpatrywanego w przykładzie podukładu ramowego uzyskane w kolejnych chwilach pożaru przy analizie rozwiązania „C-a” (opis w tekście)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

As can be seen, during the initial stage of the fire, girt deflection, originally determined for room temperature, drops significantly. This is mainly due to the thermal expansion of columns. Over time, girt deflection starts growing rapidly. It is important to note that if the frame uses relatively flexible joints „A” (solution „A-a”), the above-mentioned increase in deflection is virtually nonexistent. Indeed, at a component temperature of approximately $\Theta = \Theta_{cr}^{A-a} \approx 500^\circ\text{C}$, the frame reaches its specific fire resistance limit state. The damage pattern characteristic for this joint type will be presented later in the paper (fig. 9). At this point it is only important to note that the critical temperature of the examined frame associated with its joints „B” (solution

Jak widać, w początkowej fazie pożaru ugięcie ryglu wyznaczone pierwotnie dla warunków temperatury pokojowej znacząco maleje. Jest to głównie skutek termicznego wydłużania się słupów. Z czasem jednak ugięcie ryglu zaczyna gwałtownie narastać. Trzeba jednak podkreślić, że w przypadku zastosowania w ramie stosunkowo podatnych węzłów typu „A” (rozwiązanie „A-a”) wspomniany powyżej przyrost ugięcia w zasadzie nie został zrealizowany. W temperaturze elementów zbliżonej do $\Theta = \Theta_{cr}^{A-a} \approx 500^\circ\text{C}$ taka rama osiągnęła bowiem specyfikowany dla niej stan graniczny nośności ogniowej. Sposób zniszczenia charakterystyczny dla tego typu węzła zostanie pokazany w dalszej części pracy (ryc. 9). W tym miejscu na-

„B-a”) and „C” (solution „C-a”) proved to be much higher and was $\Theta_{cr}^{B-a} \approx 630^{\circ}\text{C}$ and $\Theta_{cr}^{C-a} \approx 633^{\circ}\text{C}$, respectively. Similar critical temperature values for solutions „B-a” and „C-a” result from their comparable damage patterns, as illustrated in figures 10 and 11.

leży jedynie zwrócić uwagę na fakt, że temperatura krytyczna badanej ramy kojarzona z zastosowanymi w niej węzłami typu „B” (rozwiązanie „B-a”) i typu „C” (rozwiązanie „C-a”) okazała się być znacznie wyższa i wyniosła odpowiednio $\Theta_{cr}^{B-a} \approx 630^{\circ}\text{C}$ i $\Theta_{cr}^{C-a} \approx 633^{\circ}\text{C}$. Podobne wartości temperatury krytycznej otrzymane dla rozwiązań „B-a”) i „C-a”) są następstwem zbliżonego sposobu zniszczenia węzła w pożarze, co zilustrowano na rycinach 10 i 11.

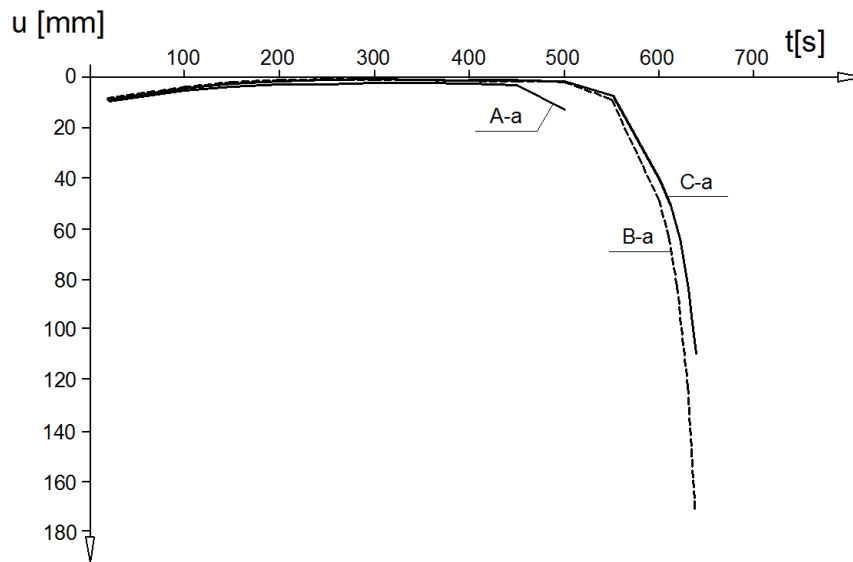


Figure 4. Deflections at the midspan of the girt of the frame under consideration, obtained for solutions „A-a,” „B-a” and „C-a” (described in the text)

Rycina 4. Ugięcia w środku rozpiętości ryglu rozpatrywanej ramy otrzymane dla rozwiązań „A-a”), „B-a”) i „C-a”) (opis w tekście)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

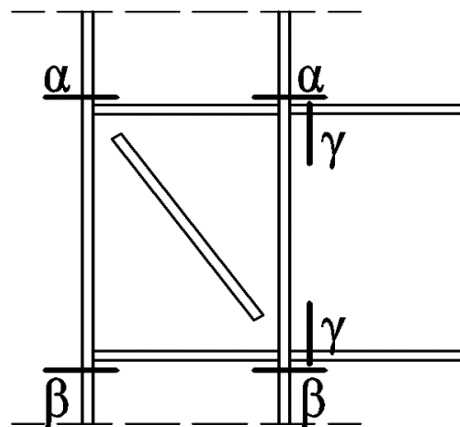


Figure 5. Location of cross-sections $\alpha-\alpha$, $\beta-\beta$ and $\gamma-\gamma$, respectively, for which the steel-temperature-dependent values of the internal forces induced by the fire in the end column and the adjacent grid of the frame under consideration were determined

Rycina 5. Lokalizacja przekrojów poprzecznych, dla których odpowiednio $\alpha-\alpha$, $\beta-\beta$ i $\gamma-\gamma$ określano zależne od temperatury stali wartości sił przekrojowych generowanych w pożarze w skrajnym słupie i sąsiadującym z nim ryglu rozpatrywanej ramy

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Redistribution of internal forces within the frame

Let us now examine the effects of unilateral beam-to-column joint design on the internal forces generated during a fire within selected cross-sections of such joints, located at the edge column of the examined frame. All results shown in the Figures below (figs. 6 and 7) refer to the design scenario "a" with infinitely stiff springs that restrict the horizontal movement of supports. The positions of the cross-sections for which the successive values of internal forces were specified, which changed as steel temperature increased, are shown in figure 5. These cross-sections are marked as $\alpha - \alpha$, $\beta - \beta$ and $\gamma - \gamma$, respectively. It is important to note that the separation of these cross-sections from the point identified as the crossing of the axes of the elements that meet at the joint (known as the offset) does not make it possible to formally verify the balance of the joint for any specific steel temperature.

Redystrybucja sił wewnętrznych w ramie

W dalszych rozważaniach zbadany zostanie wpływ konstrukcji jednostronnego węzła rygiel-słup na siły wewnętrzne generowane podczas pożaru w wybranych przekrojach poprzecznych tegoż węzła, zlokalizowanego przy skrajnym słupie ramy rozpatrywanej w przykładzie. Wszystkie wyniki pokazane na rysunkach zamieszczonych poniżej (ryc. 6 i 7) dotyczą sytuacji projektowej „a” z nieskończenie sztywnymi sprężynami ograniczającymi poziome przemieszczenia podpór. Usytuowanie przekrojów poprzecznych, dla których specyfikowano kolejne wartości sił przekrojowych, zmieniające się wraz z narastającą temperaturą stali, pokazano na rycinie 5. Przekroje te oznaczono odpowiednio symbolami: $\alpha - \alpha$, $\beta - \beta$ i $\gamma - \gamma$. Należy zaznaczyć, że odseparowanie przyjętych przekrojów względem punktu identyfikowanego ze skrzyżowaniem osi elementów łączonych w węźle (czyli tak zwany „offset”) nie daje możliwości formalnej weryfikacji stanu równowagi tego węzła przy założonej wartości temperatury stali.

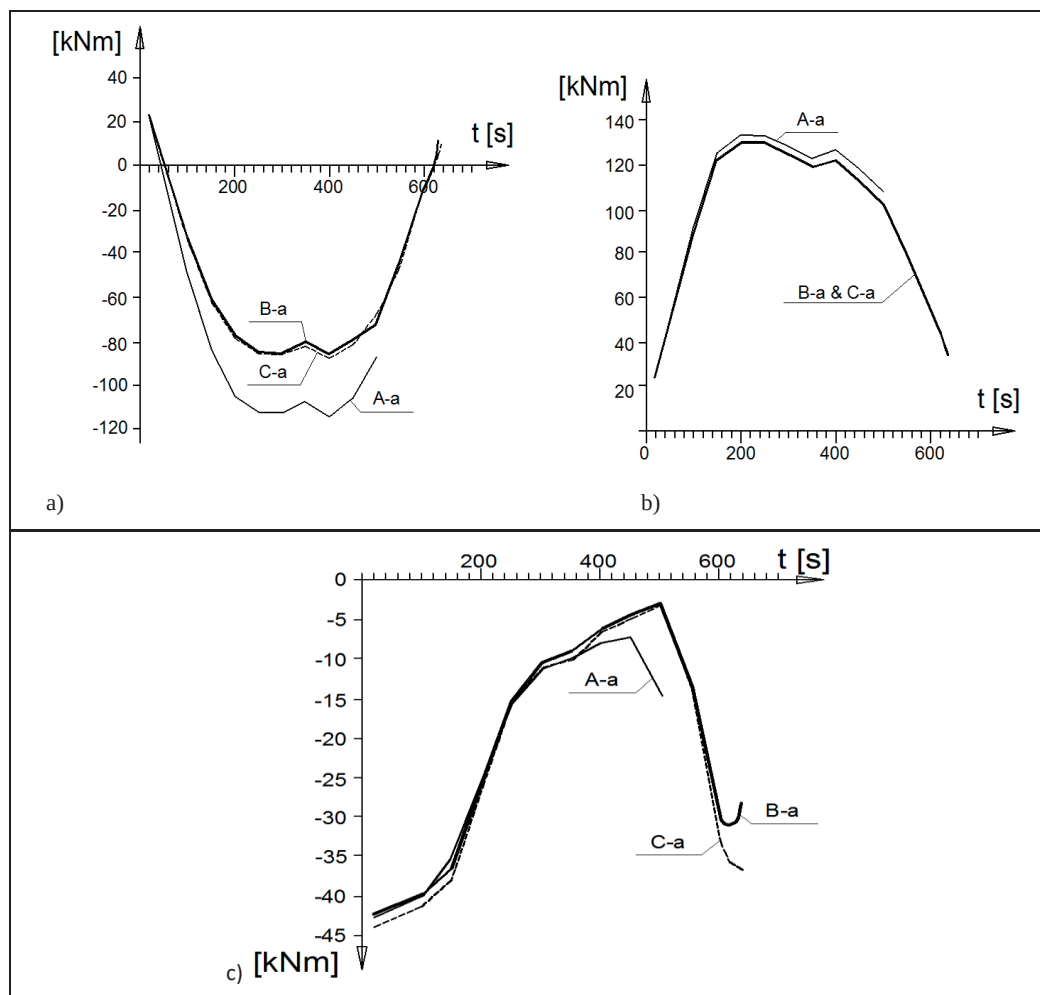


Figure 6. The relationship between steel temperature and the values of bending moments induced by the fire in the end beam-to-column joint of the frame under consideration; results obtained for scenario "a", in: a) $\alpha - \alpha$ cross-section b) $\beta - \beta$ cross-section c) $\gamma - \gamma$ cross-section, respectively

Rycina 6. Zależności pomiędzy temperaturą stali i wartościami momentów zginających generowanych w pożarze w skrajnym węźle rygiel-słup ramy rozpatrywanej w przykładzie. Wyniki uzyskane dla sytuacji projektowej „a”, odpowiednio: a) w przekroju $\alpha - \alpha$ b) w przekroju $\beta - \beta$ c) w przekroju $\gamma - \gamma$

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

In this paper, the results for the fire-scenario-specific detailed analysis of the redistribution of the internal forces produced within the components of the examined frame substructure are presented starting from diagrams showing changes in bending moments, as identified for each joint type (joints "A", "B" and "C"), in cross-sections $\alpha - \alpha$ (fig. 6a), $\beta - \beta$ (fig. 6b), and $\gamma - \gamma$ (fig. 6c), respectively. As can be seen, for the imposed loading and loading diagram of the frame shown in figure 1, prior to the fire (i.e., for $\Theta = 20^\circ\text{C}$), large bending moments were identified mainly within the girt in the examined substructure, while in columns, both above and below the girt, they remained relatively small. However, during the initial stage in the fire, as the columns expanded and the girt was compressed as a result of increasing temperature, the columns' bending moments increased rapidly, which also caused reduced girt bending. Ultimately, however, when steel temperature was high enough, the resistance of the increasingly hotter columns to the thermal expansion of the girt became significantly weaker. At the same time, the flexural stiffness of the girt itself decreased markedly. This caused girt deflections to become less and less restricted, and consequently more and more rapid. As a result of all this, the degree of column bending gradually decreased, causing girt deflections to grow. The pattern described above represents a typical redistribution of internal forces across frame components during a fire. However, it is important to bear in mind that the bending moments identified for structural components at increasing steel temperature correspond to decreasing load-bearing capacity of such components. This is mainly due to the steel-specific yield strength, which is reduced as fire develops. A comparison of the diagrams presented in figure 6 shows that the redistribution of the bending moments during a fire was not that different for joint "B" and "C" frames (fig. 2). Nonetheless, there were significant differences, both qualitative and quantitative, when joint "A" was used in the same structure. In the presented diagrams, this scenario corresponds to the significantly lower critical temperature achieved by the analysed frame as it reaches its fire resistance limit state. Similar conclusions can be drawn by comparing how the axial force generated in the girt is redistributed for joints "A", "B", and "C" (fig. 7).

As can be seen, the way the stiffness of the joint used in the frame impacts on the fire-scenario-specific redistribution of internal forces is not significant. This is particularly visible when the joint, compared to other joint designs, is so flexible that it causes the fire resistance of the frame to drop significantly as a result of being heated up. This is what happens when joint "A" is used in the frame. What seems to be much more important, from the point of view of estimating the effective load-bearing capacity for fire conditions, is the impact of the frame's flexibility level on horizontal movement. In the analysed example, such flexibility varies between the above-mentioned design scenarios, i.e. "a", "b", and "c", which correspond to different stiffness parameters of the applied springs. Figure 8 shows the redistribution of bending moments produced for different design scenarios (solutions "C-a", "C-b", and "C-c") when joint "C" was used in the frame. Interestingly, the differences in the redistribution of internal forces appear significant only during the first stage of

W niniejszej pracy zestawienie wyników uzyskanych ze specyfikowanej dla sytuacji pożaru szczegółowej analizy redystrybucji sił wewnętrznych indukowanych w elementach rozpatrywanego podukładu ramowego rozpoczyna się od wykresów prezentujących zmiany momentów zginających zidentyfikowanych dla poszczególnych rodzajów węzłów (typu „A”, „B” i „C”) odpowiednio w przekrojach $\alpha - \alpha$ (ryc. 6a), $\beta - \beta$ (ryc. 6b) i $\gamma - \gamma$ (ryc. 6c). Jak widać, przy obciążeniach zewnętrznych i schemacie statycznym ramy pokazanych na rycinie 1, przed zainicjowaniem pożaru (to znaczy dla $\Theta = 20^\circ\text{C}$), duże momenty zginające były identyfikowane głównie w ryglu rozpatrywanego podukładu – w słupach, zarówno powyżej jak i poniżej rygla, pozostawały na stosunkowo niskim poziomie. Jednakże, w początkowej fazie pożaru, rozpychanie słupów i narastające ze wzrostem temperatury stali ściskanie rygla spowodowało szybki wzrost wartości momentów zginających słupy, co skutkowało równoczesnym osłabieniem zginania rygla. W końcu jednak, przy odpowiednio wysokiej temperaturze stali, opór stawiany termicznemu wydłużaniu się rygla przez coraz silniej rozgrzane słupy uległ znacznemu osłabieniu. W tym samym czasie wyraźnie zmalała również sztywność giętna samego rygla. Skutkowało to coraz słabiej krępowanym – a więc i coraz bardziej gwałtownym – przyrostem ugięcia tego rygla. Wszystko to spowodowało zmniejszanie się stopnia zginania słupów i towarzyszący temu zjawisku powrót do coraz silniejszego zginania rygla. Przedstawiony powyżej schemat odpowiada typowemu przebiegowi redystrybucji sił przekrojowych w elementach ramy w warunkach pożaru. Należy jednak mieć na względzie fakt, że momentom zginającym identyfikowanym w elementach konstrukcyjnych przy coraz wyższej temperaturze stali odpowiada coraz mniejsza wartość nośności tych elementów. Wynika ona głównie z postępującej wraz z rozwojem pożaru redukcji granicy plastyczności specyfikowanej dla tej stali. Porównanie wykresów zaprezentowanych na rycinie 6 pozwala na stwierdzenie, że przebieg redystrybucji momentów zginających w warunkach pożaru nie różnił się znacząco w sytuacji, gdy w rozpatrywanej ramie zastosowano węzeł typu „B” i węzeł typu „C” (ryc. 2). Różnica, zarówno ilościowa jak i jakościowa, była jednak wyraźnie widoczna w przypadku zastosowania w tym samym ustroju węzła typu „A”. Sytuacji tej odpowiada bowiem na prezentowanych wykresach znacząco niższa wartość temperatury krytycznej kojarzonej z osiągnięciem przez analizowaną ramę stanu granicznego nośności ogniowej. Do analogicznych wniosków dochodzi się również, porównując zidentyfikowany kolejno dla węzłów typu „A”, typu „B” i typu „C” sposób redystrybucji siły podłużnej generowanej w ryglu (ryc. 7).

Jak widać, wpływ sztywności węzła zastosowanego w ramie na specyfikowany dla sytuacji pożaru sposób redystrybucji sił przekrojowych nie jest znaczący. Uwidacznia się on szczególnie wtedy, gdy węzeł ten, w stosunku do porównywanych z nim węzłów o innej konstrukcji, jest na tyle podatny, że w efekcie nagrzewania determinuje wyraźne obniżenie odporności ogniowej badanej ramy. Tak dzieje się w przypadku zastosowania w ramie węzła typu „A”. Znacznie bardziej istotny z punktu widzenia prognozy efektywnej nośności ramy szacowanej dla warunków pożaru wydaje się wpływ stopnia podatności tej ramy na przemieszczenia poziome. Podatność tego typu w analizowanym przykładzie różnicowana jest przez wyszczególnione powyżej sytuacje projektowe, odpowiednio „a”, „b” i „c”,

the fire, when the temperature of the frame components is lower than $\Theta \approx 400^{\circ}\text{C}$. At higher temperatures, these differences seem to disappear, which suggests that, as yield strength loss becomes accelerated in structural steel, the different degrees of frame susceptibility to horizontal deformations become less relevant.

odpowiadające kolejno przyjętym wartościom sztywności założonych sprężyn. Na rycinie 8 zaprezentowano przebieg redystrybucji momentów zginających uzyskanych po zastosowaniu w badanej ramie węzła typu „C” dla kolejnych rozpatrywanych w przykładzie sytuacji projektowych (rozwiązania „C-a”, „C-b” i „C-c”). Co ciekawe, różnice w przebiegu redystrybucji sił przekrojowych są tu znaczące w zasadzie jedynie w pierwszej fazie pożaru, gdy temperatura elementów ramy nie przekracza wartości $\Theta \approx 400^{\circ}\text{C}$. W temperaturze wyższej wydają się zanikać, co świadczy o tym, że przy coraz szybciej postępującej redukcji granicy plastyczności stali konstrukcyjnej zróżnicowanie stopnia podatności ramy na deformacje poziome traci swe istotne znaczenie.

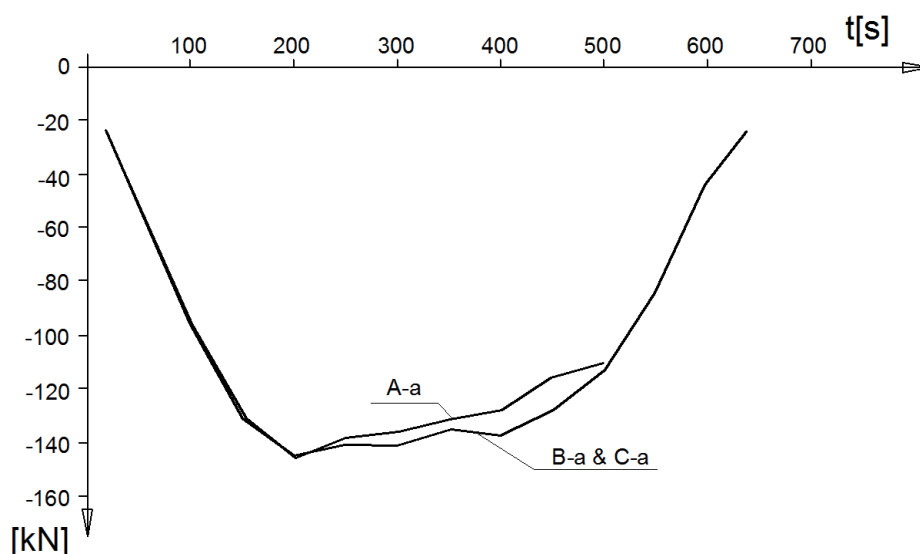


Figure 7. The relationship between steel temperature and the values of the axial force induced by the fire in the girt of the frame under consideration; results obtained for $\gamma - \gamma$ cross-section and scenario “a”

Rycina 7. Zależności pomiędzy temperaturą stali a wartościami siły osiowej generowanej w pożarze w ryglu ramy rozpatrywanej w przykładzie. Wyniki uzyskano dla przekroju $\gamma - \gamma$ i sytuacji projektowej „a”

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Joint damage patterns during a fire

Another area where the tested frame structure behaved differently during a fire was how the hot joint was getting damaged. These different damage patterns were produced by the use of stiffening ribs, or lack thereof, in the joint. As shown in figure 9, in the frame with joints “A” and no web stiffeners, failure occurred as a result of buckling instability of the intermediate column at the lower girt line, which immediately caused both column flanges to become locally unstable.

The reliable model of the fire-induced damage of joint “B” featuring horizontal web stiffeners at both the upper and lower beam flanges proved completely different from the previous one. Here, at a much higher steel temperature, the end column was seen to lose its local stability at the lower beam flange (fig. 10a). The joint featuring an intermediate column damaged in a slightly different way, with instability at the lower line of the left girt being observed in this case (fig. 10b).

Sposoby zniszczenia węzła w pożarze

Kolejnym czynnikiem różnicującym zachowanie się badanego ustroju ramowego w warunkach pożaru jest zaobserwowany sposób niszczenia się rozgrzanego węzła. Sposób ten determinowany jest przez zastosowane w węźle żebra usztywniające lub ewentualnie przez ich brak. Jak pokazano na rycinie 9, w ramie z zastosowanymi węzłami typu „A” z nieuźebrowanymi środkami słupów wyczerpanie nośności nastąpiło wskutek utraty stateczności środka słupa pośredniego w poziomie dolnych pasów rygla, co natychmiast pociągnęło za sobą lokalną niestateczność obydwu pasów tego słupa.

Miarodajny model zniszczenia w pożarze węzła typu „B”, z zastosowanymi żebrami poziomymi usztywniającymi środki słupów w poziomie górnych i dolnych pasów rygla, okazał się całkowicie odmienny od poprzedniego. Tym razem, przy znacząco już wyższej temperaturze stali, w przypadku słupa skrajnego zaobserwowano lokalną utratę stateczności pasa tego słupa

Joint damage patterns similar to those presented in figure 10 were also recorded when joints "C" were used in the examined substructure. These are shown in figure 11.

w poziomie dolnego pasa rygla (ryc. 10a). Nieco inaczej przebiegało zniszczenie węzła zawierającego słup pośredni. W tym przypadku odnotowano utratę stateczności dolnego pasa lewego rygla (ryc. 10b).

Sposoby zniszczenia węzłów, analogiczne do tych zaprezentowanych na rycinie 10, uzyskano także w przypadku zastosowania w rozpatrywanym podukładzie ramowym węzłów typu „C”. Pokazano je na rycinie 11.

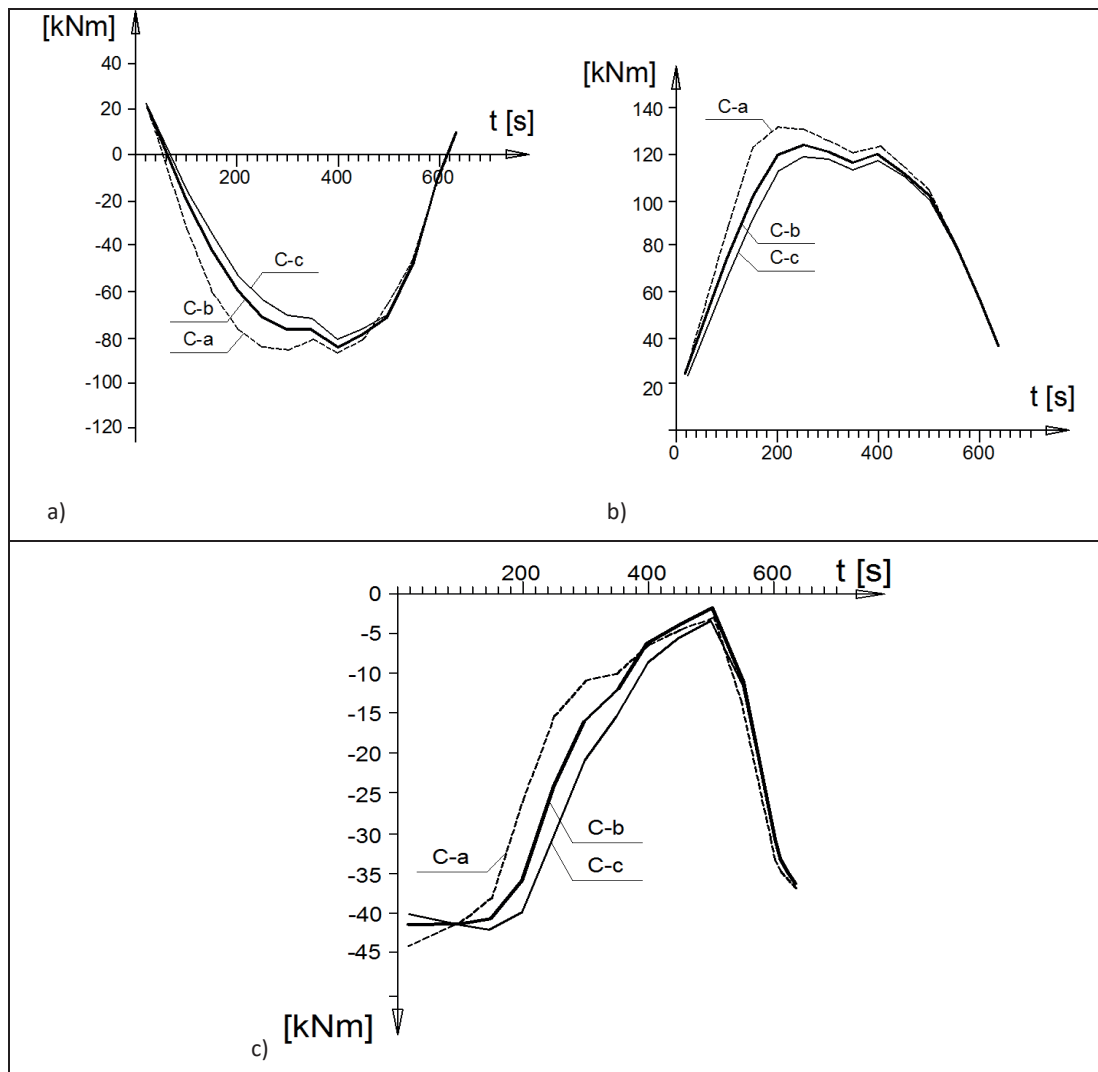


Figure 8. The relationship between steel temperature and the values of bending moments induced by the fire in joint "C" of the frame under consideration, in scenarios "a", "b" and "c"; results obtained for a) $\alpha - \alpha$ cross-section b) $\beta - \beta$ cross-section c) $\gamma - \gamma$ cross-section, respectively

Rycina 8. Zależności pomiędzy temperaturą stali a wartościami momentów zginających generowanych w pożarze w węźle typu „C” ramy rozpatrywanej w przykładzie w kolejnych sytuacjach projektowych; „a”, „b” i „c”. Wyniki uzyskane odpowiednio: a) w przekroju $\alpha - \alpha$ b) w przekroju $\beta - \beta$ c) w przekroju $\gamma - \gamma$

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

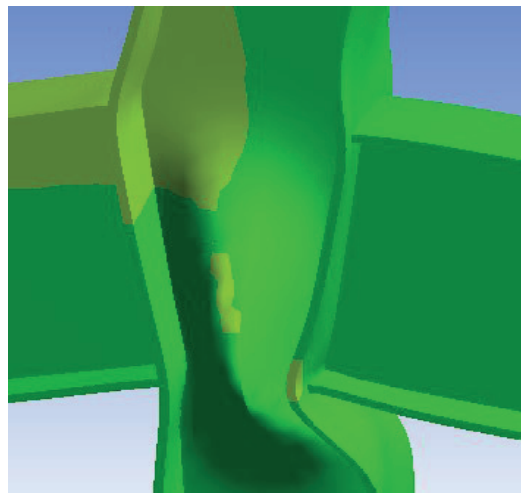
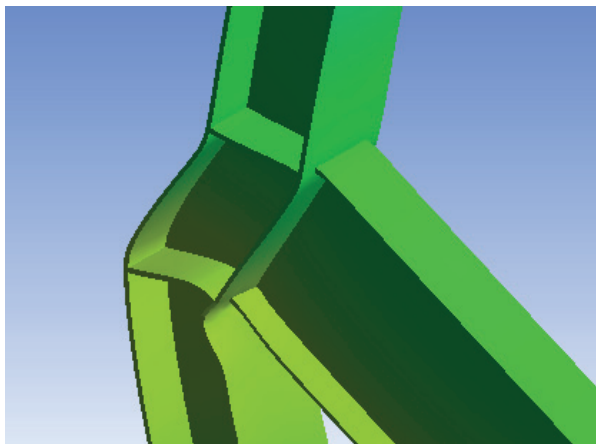


Figure 9. Local instability of the column web at the lower beam flanges as a fire-induced damage pattern for joint “A”

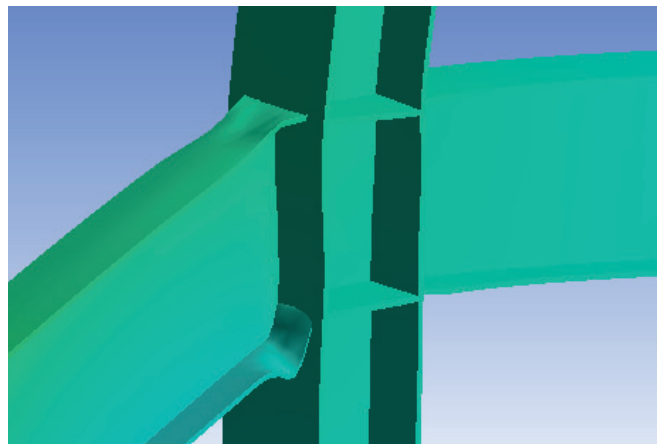
Rycina 9. Lokalna niestętność srodnka słupa pośredniego w poziomie dolnych pasów rygli jako model zniszczenia w warunkach pożaru miarodajny dla węzła typu „A”

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.



a)



b)

Figure 10. Fire-induced damage patterns for joint “B” as regards: a) end columns b) intermediate columns

Rycina 10. Modele zniszczenia w warunkach pożaru miarodajne dla węzłów typu „B”: a) w przypadku słupa skrajnego b) w przypadku słupa pośredniego

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Final remarks

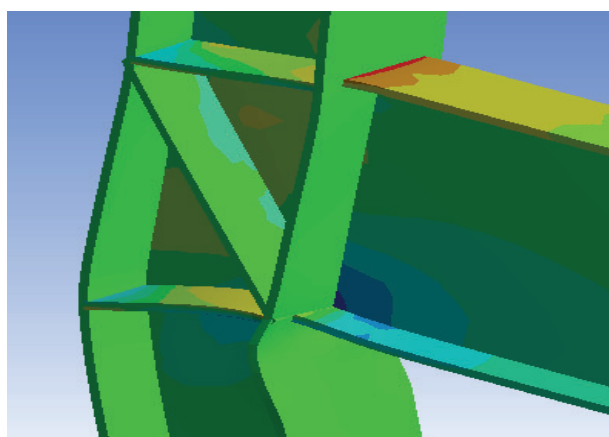
The analyses presented in this paper build on broader research conducted by the authors to identify the potential patterns for the redistribution of internal forces, as found in load-bearing steel structures during a fire. The results of such previous studies have been published, e.g. in a conference report entitled *Recent progress in steel and composite structures, Proceedings of the 13th International Conference on Metal Structures* [5]. The numerical simulations results, as described above, support the view that different designs of frame joints, which translate into their varying stiffness, can produce different

Uwagi końcowe

Rozważania prezentowane w niniejszej pracy stanowią kontynuację szerszych badań prowadzonych przez autorów w celu rozpoznania potencjalnie możliwych schematów redystrybucji sił przekrojowych realizowanej w ogarniętych pożarem stalowych ramowych ustrojach nośnych. Wcześniejsze wyniki tych prac były publikowane między innymi w materiałach pokonferencyjnych pt. *Recent progress in steel and composite structures, Proceedings of the 13th International Conference on Metal Structures* [5]. Przytoczone powyżej rezultaty symulacji numerycznej potwierdzają przekonanie, że różna konstrukcja węzłów ramy, przekładająca się w konsekwencji na ich różną

fire-induced damage patterns. Nevertheless, this does not necessarily mean that the analysed frame exhibits diverse response patterns when exposed to a fire. On the one hand, bending moments, which are generally dominant in the girt prior to the fire, first gradually start losing their importance as the fire progresses, only to regain their leading role when the temperature becomes sufficiently high. On the other hand, the bending moments in the frame columns, which usually tend to be insignificant when there is no fire, first rise as a result of the increased compressive axial force exerted on the girts, only to become weak again when that force diminishes. While different joint designs share a similar general pattern of the redistribution of internal forces, there might be some important differences in terms of the joint-specific critical temperature associated with the fire resistance limit state achieved by the analysed frame. Such differences were observed for joints “A”, for which that temperature proved to be much lower compared to joints “B” or “C”, due to their significant initial flexibility. As a result, such joints could not fully go through all stages of the internal force redistribution process, which was easily achieved by similar frames with more rigid joints. The simulation performed by the authors has also demonstrated that the initial differences in susceptibility to horizontal deformations were not significant for the expected response of the examined frame to fire exposure. Even though such differences in susceptibility during initial stages of the fire produce fairly significant differences in the correlation between the steel temperature reached by frame components and the internal forces generated in such components at specific temperatures, they quickly lose their importance as the fire progresses. This is because the individual frame components are losing their load-bearing capability and, consequently, their flexural stiffness.

sztwność, może skutkować w warunkach pożaru realizacją różniących się wzajemnie modeli zniszczenia. Nie musi to jednak wcale oznaczać generowania się w pożarze odmiennych schematów odpowiedzi badanej ramy na ekspozycję pożarową. Z jednej strony momenty zginające z reguły dominujące w ryglu przed zainicjowaniem pożaru, w czasie jego trwania najpierw stopniowo tracą na znaczeniu, aby przy odpowiednio wysokiej temperaturze odzyskać swoją wiodącą rolę. Z drugiej strony momenty zginające słupy ramy, na ogół nieznaczne w sytuacji, gdy nie ma pożaru, najpierw intensyfikują się wskutek wzmożonego oddziaływania siły osiowej ściskającej rygle, aby w końcu ulec z powrotem osłabieniu, gdy siła ta traci na znaczeniu. Pomimo podobnego dla różnych wariantów konstrukcji węzłów ogólnego schematu realizacji redystrybucji sił przekrojowych istotnie różna co do wartości może okazać się specyfikowana przy założeniu zastosowania tych węzłów temperatura krytyczna kojarzona z osiągnięciem przez analizowaną ramę stanu granicznego nośności ogniowej. Tego typu różnicę odnotowano w przypadku zastosowania węzłów typu „A”, dla których – z uwagi na ich dużą początkową podatność – temperatura ta okazała się znacząco niższa niż to miało miejsce po zastosowaniu węzłów typu „B” lub typu „C”. Skutkiem tej różnicy był między innymi brak możliwości pełnej realizacji wszystkich etapów redystrybucji sił przekrojowych, z łatwością osiągniętych przez analogiczną ramę z węzłami o większej sztywności. Przeprowadzona symulacja pokazała również, że w prognozowanej odpowiedzi badanej ramy na ekspozycję pożarową istotnego znaczenia nie ma także początkowe zróżnicowanie jej podatności na ewentualne deformacje poziome. Rozbieżności w tego rodzaju podatności w początkowej fazie pożaru determinują co prawda dość znaczące zróżnicowanie zależności pomiędzy temperaturą stali osiąganą w elementach ramy i indukowanymi w tych elementach i w tej temperaturze siłami przekrojowymi, niemniej jednak w dalszym przebiegu pożaru tracą one szybko na znaczeniu. Dzieje się tak ze względu na coraz bardziej zaawansowaną redukcję nośności poszczególnych elementów ramy i towarzyszące jej postępujące osłabienie ich sztywności giętnej.



a)



b)

Figure 11. Fire-induced damage patterns for joint “B” as regards: a) end columns b) intermediate columns

Rycina 11. Modele zniszczenia w warunkach pożaru miarodajne dla węzłów typu „B”: a) w przypadku słupa skrajnego b) w przypadku słupa pośredniego

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Literature / Literatura

- [1] El-Rimawi J.A., Burgess I.W., Plank R.J., *Studies of the behaviour of steel subframes with semi-rigid connections in fire*, "Journal of Constructional Steel Research" 1999, 49, 83–98.
- [2] Liu J., Jána T., Wald F., *Internal forces in the structure during fire test*, w: Proceedings of the 7th European Conference on Steel and Composite Structures "Eurosteel 2014", R. Landolfo, F.M. Mazzolani (red.), Napoli, Italy, September 10–12, 2014, abstract 801–803, article – pen-drive, 6 pages.
- [3] EN 1993-1-2. 2005. Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1–2: General rules. Structural fire design.
- [4] Maślak M., Pazdanowski M., Woźniczka P., *Influence of joint stiffness on the behavior of steel bearing frame under fire conditions*, w: Proceedings of the 8th European Conference on Steel and Composite Structures "Eurosteel 2017", J. Jönsson (red.), Copenhagen, Denmark, September 13–15, 2017, article – pen-drive, 10 pages.
- [5] Maślak M., Pazdanowski M., Snela M., *Redistribution of internal forces generated in a steel frame structure with flexible joints when exposed to a fire*, w: Recent progress in steel and composite structures, Proceedings of the 13th International Conference on Metal Structures (ICMS 2016), M. Giżejowski, A. Kozłowski, J. Marcinowski, J. Ziółko (red.), Zielona Góra, Poland, June 15–17, 2016, CRC Press/Balkema, Leiden, The Netherlands, abstract pp. 136–137, article – CD 315–322.

MARIUSZ MAŚLAK, PH.D., D.SC., PROF. CUT – Associate Professor at the Department of Metal Structures of the Faculty of Civil Engineering, the Cracow University of Technology. His focus areas are the development, maintenance and verification of the safety of various types of steel load-bearing structures, including in particular the behaviour of such structures when exposed to fire. A member of the International Association for Fire Safety Science (IAFSS). A member of the Technical Committee 3 (TC3): "Fire Safety" of the European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) representing Poland, and also a member of the Technical Committee CEN TC 250/SC3: "Evolution Group Eurocode 3, Part 1–2". Between 2010 and 2014 he was a member of the Management Committee of the International Research Project COST TU0904 "Integrated Fire Engineering and Response". A member of the Management Committee of the International Research Project COST TU1402 "Quantifying the Value of Structural Health Monitoring". A head of the project N N506 243938 funded by the Polish Ministry of Science and Higher Education called "Measures for safety and their interrelations in the accidental design situation of a fully developed fire" (including between 2010 and 2014).

PIOTR WOŹNICZKA, PH.D. – licensed construction designer. Assistant professor at the Department of Metal Structures of the Faculty of Civil Engineering, the Cracow University of Technology. Currently, he deals with the issues of modelling complex steel load-bearing structures' response to fire exposure.

DR HAB. INŻ. MARIUSZ MAŚLAK, PROF. PK – profesor nadzwyczajny w Katedrze Konstrukcji Metalowych na Wydziale Inżynierii Łądowej Politechniki Krakowskiej. Zajmuje się kształtowaniem, utrzymaniem i weryfikacją stanu bezpieczeństwa różnego typu stalowych ustrojów nośnych ze szczególnym uwzględnieniem zachowania się tego typu konstrukcji w warunkach ekspozycji ogniowej. Członek International Association for Fire Safety Science (IAFSS). Z ramienia Polski członek Technical Committee 3 (TC3): „Fire Safety” przy European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), a także członek Komitetu Technicznego CEN TC 250/SC3: „Evolution Group Eurocode 3, Part 1–2”. W latach 2010–2014 członek Komitetu Zarządzającego Międzynarodowego Projektu Badawczego COST TU0904 „Integrated Fire Engineering and Response”. Od roku 2014 członek Komitetu Zarządzającego Międzynarodowego Projektu Badawczego COST TU1402 „Quantifying the Value of Structural Health Monitoring”. Kierownik grantu badawczego własnego N N506 243938 „Miary bezpieczeństwa i ich wzajemne relacje w wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru rozwiniętego” (również w latach 2010–2014).

DR INŻ. PIOTR WOŹNICZKA – uprawniony projektant budowlany. Adiunkt naukowo-badawczy w Katedrze Konstrukcji Metalowych na Wydziale Inżynierii Łądowej Politechniki Krakowskiej. Zajmuje się problematyką modelowania odpowiedzi złożonych stalowych ustrojów nośnych na oddziaływanie pożarowe.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Stworzenie angielskich wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BITP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – zadanie finansowane w ramach umowy 658/P-DUN/2018 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

Jr brig. Piotr Lesiak, M.Sc. Eng.^{a)*}; brig. Damian Bąk, Eng.^{a)}; brig. Daniel Małozieć, M.Sc. Eng.^{a)}; Marcin Grabarczyk, Ph.D.^{b)}; Andrzej Kołaczkowski, M.Sc. Eng.^{c)}

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

^{b)} *NASK – Research and Academic Computer Network – National Research Institute / Naukowa i Akademicka Sieć Komputerowa Państwowy Instytut Badawczy*

^{c)} *„Anko” Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Usługowe Andrzej Kołaczkowski*

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

Evaluation of the Effectiveness of Active HRD Systems for Dust Explosion Suppression in a Technology Demonstrator System

Ocena skuteczności tłumienia wybuchu pyłowego w układzie demonstratora przez aktywny system HRD

ABSTRACT

Purpose: This paper presents the operation of an active dust explosion (HRD, high rate discharge) suppression system in a confined space.

Design and methods: The study involved tests of the developed fire protection system for suppressing dust explosions. The work was carried out under the project entitled “Innovative explosion protection technologies, including for highly protected facilities” No. DOBR-BIO4/052/13073/2013 at the Scientific and Research Centre for Fire Protection in Józefów.

A test station designed and constructed to meet the prerequisites of the PN-EN 14034 series of standards was designed for testing. The test equipment consisted of a closed roughly spherical chamber with a volume of 1 m³, an ignition system, a system producing a dust-air atmosphere, and a pressure change detection system. Inside the sphere, a dust-air mixture of a certain concentration was obtained in a reproducible manner. The station was armed with a dust explosion suppression system consisting of:

- 5 dm³ fire extinguisher tank containing pressurized fire-extinguishing powder,
- a diffusing nozzle,
- an explosion detection system.

The operation of the extinguishing system is based on the early detection of changes in the explosion pressure of the dust-air mixture, the processing of the signal, and the release of the extinguishing agent inside the apparatus in order to interrupt the explosion process at the earliest possible stage of its development.

Results: On the basis of the conducted experiments, it can be concluded that the HRD system effectively interrupts explosive combustion for dust with a $K_{st} \leq 100 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$. For the examined potato starch dust, the system significantly reduced the explosion pressure to an acceptable value. The system is also characterised by a short reaction time, and the discharge of the extinguishing powder takes place in less than 100 ms, which is a satisfactory value.

Conclusions: The tests were carried out for potato starch and lycopodium. The phenomenon of explosive combustion occurring in the mixture of lycopodium and air is characterised by greater dynamics, compared to starch. This difference allowed to identify the limitation of extinguishing dust explosions in small cubic capacity areas. In addition, research identified issues related to the source of ignition in the form of pyrotechnical heads, the use of which requires the setting of a high-pressure threshold activating the HRD system. This results in a delayed system reaction in the event of ignition of high K_{st} dust mixtures.

Keywords: HRD, explosion suppression system, dust explosion

Type of article: original scientific article

Received: 20.02.2019; **Reviewed:** 17.05.2019; **Accepted:** 28.06.2019;

Authors ORCID IDs: P. Lesiak – 0000-0001-8465-2169; D. Bąk – 0000-0002-4438-358X; D. Małozieć – 0000-0003-4929-8656;

M. Grabarczyk – 0000-0002-9996-0831; A. Kołaczkowski – 0000-0002-3722-3262;

Percentage contribution: P. Lesiak – 35%; D. Bąk – 30%; D. Małozieć 10%; M. Grabarczyk – 10%; A. Kołaczkowski – 15%;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 46–66, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.3>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie działania aktywnego systemu tłumienia wybuchów pyłowych (nazwanych HRD od ang. *high rate discharge*) w przestrzeni ograniczonej.

Projekt i metody: W ramach badań przeprowadzono testy wytworzonego systemu gaśniczego do tłumienia wybuchów pyłowych. Prace zostały wykonane w ramach projektu pt. „Innowacyjne technologie zabezpieczeń przed wybuchem, w tym obiektów szczególnie chronionych” nr DOBR-BIO4/052/13073/2013 w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziowej w Józefowie.

Do badań zaprojektowano i wykonano stanowisko spełniające założenia serii norm PN-EN 14034. Urządzenie badawcze składa się z zamkniętej komory kształtem zbliżonej do kuli o objętości 1 m³ oraz układów: zapłonowego, tworzenia atmosfery pyłowo-powietrznej, detekcji zmian ciśnienia. Wewnątrz sfery uzyskiwano w powtarzalny sposób mieszaninę pyłowo-powietrzną o określonym stężeniu. Stanowisko uzbrojono w system tłumienia wybuchów pyłowych zawierający:

- zbiornik gaśnicy o objętości 5 dm³ zawierający proszek gaśniczy pod ciśnieniem,
- dyszę rozpraszającą,
- system wykrywania wybuchu.

Działanie systemu gaśniczego opiera się na wczesnym wykryciu zmiany ciśnienia wybuchu mieszaniny pyłowo-powietrznej, przetworzeniu sygnału oraz wyzwoleniu środka gaśniczego do wnętrza aparatu w celu przerwania procesu wybuchu w jak najwcześniejszej fazie jego rozwoju.

Wyniki: Na podstawie przeprowadzonych eksperymentów można stwierdzić, że system HRD skutecznie przerywa spalanie wybuchowe dla pyłu o $K_{st} \leq 100 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$. Dla przebadanego pyłu skrobi ziemniaczanej system znacznie redukuje ciśnienie wybuchu do wartości akceptowalnej. Układ charakteryzuje się także krótkim czasem reakcji, a wyładowanie proszku gaśniczego następuje w czasie poniżej 100 ms, co jest wartością satysfakcjonującą.

Wnioski: Badania przeprowadzono dla skrobi ziemniaczanej i likopodium. Zjawisko spalania wybuchowego zachodzące w mieszaninie likopodium i powietrza charakteryzuje się większą dynamiką niż w przypadku skrobi. Różnica ta pozwoliła na zidentyfikowanie ograniczenia, jakim jest gaszenie wybuchów pyłowych w niewielkiej kubaturze. Ponadto w badaniach zidentyfikowano problematykę związaną z zastosowanym źródłem zapłonu w postaci główek pirotechnicznych, których zastosowanie narzuca konieczność nastawienia wysokiego progu ciśnienia aktywującego system HRD. Skutkuje to opóźnioną reakcją systemu w przypadku zapłonu mieszanin pyłowych o wysokiej wartości parametru K_{st} .

Słowa kluczowe: HRD, system tłumienia wybuchu, wybuch pyłu

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 20.02.2019; **Zrecenzowany:** 17.05.2019; **Zatwierdzony:** 28.06.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: P. Lesiak – 0000-0001-8465-2169; D. Bąk – 0000-0002-4438-358X; D. Małozieć – 0000-0003-4929-8656; M. Grabarczyk – 0000-0002-9996-0831; A. Kołaczkowski – 0000-0002-3722-3262;

Procentowy wkład merytoryczny: P. Lesiak – 35%; D. Bąk – 30%; D. Małozieć 10%; M. Grabarczyk – 10%; A. Kołaczkowski – 15%;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 46–66, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.3>;

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

Background

Industry has developed in parallel to process safety engineering, a discipline of which is broadly understood explosion protection. Undesired events, which often lead to failures generating dust-air explosions with significant consequences, have confirmed that this type of threat can occur at various stages of the industrial process. Unfortunately, substantial losses had to be suffered, not only in material terms, to gain this experience. Due to this, analysing combustion-related phenomena and studying explosive parameters has become an absolute necessity.

The basic explosion protection measures are divided into preventive and active. The former involve activities aimed at preventing the occurrence of explosive atmospheres and explosion initiation. The latter are carried out using technical devices which reduce or limit the effects of explosions. The difference between these protection measures lies in the presence, or lack, of the explosion. Preventive measures include all activities leading to eliminating explosive atmospheres, i.e. maintaining a concentration of the substance outside of its flammable

Wprowadzenie

Rozwój przemysłu przebiegał równolegle do rozwoju inżynierii bezpieczeństwa procesowego, do której zaliczamy także szeroko rozumianą ochronę przeciwybuchową. Zdarzenia niepożądane, często kończące się poważnymi awariami w postaci wybuchów pyłowo-powietrznych potwierdziły, że zagrożenie tego typu może wystąpić na różnych etapach procesu przemysłowego. Niestety, zdobyte doświadczenie zostało okupione stratami o charakterze nie tylko materialnym. W związku z tym analiza zjawisk towarzyszących spalaniu oraz badania nad parametrami wybuchowości są dzisiaj absolutną koniecznością.

Podstawowe środki ochrony przeciwybuchowej dzieli się na prewencyjne oraz czynne. Pierwsze z nich to działania mające zapobiegać tworzeniu się atmosfer wybuchowych i inicjacji wybuchu. Te drugie realizowane są poprzez urządzenia techniczne zmniejszające lub ograniczające skutki wybuchów. Różnica pomiędzy wymienionymi środkami ochrony sprowadza się zatem do obecności zjawiska wybuchu. Do metod prewencji należy zaliczyć wszystkie działania prowadzące do wyeliminowania atmosfer wybuchowych, tj. utrzymanie stężenia substancji poza

range, reducing oxygen concentration in the oxidising medium, and eliminating the potential sources of ignition (mechanical, electrostatic, and other).

There is a fixed but ungrounded belief among engineers and process safety specialists that the installation of explosion-protection equipment is the definitive security measure for all threats. However, some industrial processes can only occur in the presence of explosive atmospheres. This is not only due to the economy of the process, but also the physical and chemical properties of the substances used. The technological implementations of explosion-protection methods are conventionally divided into passive and active systems. The former do not require triggering detectors, such as pressure sensors, ionisation gauges, thermocouples or photodiodes. An example of such a system could be an explosion venting device placed on the filtration system. It is designed in such a way that in the case of an excessive increase in pressure over the nominal operating pressure, it is torn open and directs the explosion effects (blast wave, flame, fragmented material) into a safe area.

This paper discusses tests of an active explosion suppression system. This technology is based on the appropriate (in terms of intensity) dosage of the right type of extinguishing agent to the protected area of a process line. This solution involves preventing a situation in which the explosion reaches a pressure that exceeds the threshold device resistance. HRD systems protect structures from mechanical damage and internal fires which could lead to serious damage or further propagation of the undesirable event to other areas of the system.

The combination of extinguishing agents and active explosion suppression is a relatively new solution, as its first implementations date back to the 1960s. Merging these two concepts into a single technical solution, i.e. an extinguishing and suppressing device to control the combustion process, is even newer. Currently, researchers agree that HRD system performance should be assessed in terms of its effectiveness in inerting the combustible mixture (interruption of the previously initiated chemical reactions) of an explosive nature and the time of response to such hazards. Unfortunately, there is a problem with the unification of research methods that would verify the correctness of operation of the discussed systems. The authors of this paper present a review of literature on research and implementation work on HRD systems, as well as the results of their own design and experimental work.

Literature review

The amount of information available on HRD systems is limited. This is probably due to business competition issues and the unavailability on the market of alternative solutions providing similar or better effectiveness in suppressing explosions. These systems are a highly profitable product for manufacturers

jej zakresem palności, zmniejszanie stężenia tlenu w medium utleniającym oraz eliminowanie potencjalnych źródeł zapłonu (mechanicznych, elektrostatycznych i innych).

Wśród inżynierów i specjalistów ds. bezpieczeństwa procesowego obserwuje się utrwalenie nieuzasadnionego przekonania, że montaż urządzeń zabezpieczających przed skutkami wybuchu stanowi panaceum na wszystkie zagrożenia. Tymczasem, niektóre procesy przemysłowe muszą się odbywać w obecności atmosfer wybuchowych. Jest to podyktowane nie tylko ich ekonomią, lecz także właściwościami fizykochemicznymi stosowanych substancji. Technologiczne implementacje czynnych metod ochrony przeciwwybuchowej dzieli się umownie na systemy pasywne i aktywne. Pierwsze z wyżej wymienionych nie wykazują konieczności stosowania detektorów wyzwalających, takich jak czujniki ciśnienia, sondy jonizacyjne, termopary czy fotodiody. Przykładem takiego systemu może być membrana odciażająca umieszczona na zespole filtracyjnym. Jest ona zaprojektowana tak, aby w przypadku wystąpienia zjawiska skutkującego np. nadmiernym przyrostem ciśnienia ponad nominalne ciśnienie pracy, nastąpiło jej rozerwanie i ukierunkowanie skutków wybuchu (fala ciśnienia, płomień, fragmenty materiału) w bezpieczny obszar.

Niniejszy artykuł poświęcony jest testom aktywnego systemu ochrony przeciwwybuchowej. Działanie technologii polega na właściwym (pod względem intensywności) podaniu odpowiedniego rodzaju środka gaśniczego do chronionej części układu technologicznego. Idea tego rozwiązania polega na uniemożliwieniu wystąpienia sytuacji, w której wybuch osiąga ciśnienie przekraczające graniczną wytrzymałość zabezpieczanego urządzenia. Systemy HRD chronią konstrukcje przed uszkodzeniami mechanicznymi oraz pożarami wewnętrznymi mogącymi doprowadzić do poważnych zniszczeń lub dalszej propagacji zjawiska niepożądanego na inne obszary instalacji.

Połączenie środków gaśniczych oraz czynnej ochrony przeciwwybuchowej to rozwiązanie stosunkowo nowe, ponieważ pierwsze wdrożenia datuje się na lata 60. ubiegłego wieku. Fuzja tych dwóch zagadnień w jedno techniczne rozwiązanie, czyli urządzenie gasząco-tłumiące niekontrolowane zjawisko spalania to próby jeszcze nowsze. Obecnie badacze zdają się być zgodni, że działanie systemów HRD należy oceniać pod względem ich skuteczności w inertyzacji mieszaniny palnej (przerwaniu zainicjowanych już reakcji chemicznych) o charakterze wybuchu oraz czasu reakcji na takie zagrożenie. Problem stanowi niestety unifikacja metod badawczych, które weryfikowałyby poprawność działania omawianych systemów. W niniejszym artykule autorzy prezentują przegląd literatury dotyczących prac badawczych i wdrożeniowych nad systemami HRD, a także wyniki własnych prac o charakterze konstrukcyjno-eksperymentalnym.

Przegląd literatury

Ilość dostępnych informacji na temat systemów HRD jest niestety ograniczona. Jest to prawdopodobnie związane m.in. z kwestiami konkurencji biznesowej oraz niedostępnością na rynku innych rozwiązań zapewniających zbliżoną lub lepszą skuteczność tłumienia wybuchów. Systemy stanowią dochodo-

of explosion suppression solutions. The technological advantage achieved in this field translates into the market situation of the manufacturers. Information on the discussed solutions is usually available in scientific databases, but fragmented and incomplete. Specialised publications involving studies on HRD systems in English can be found using such keywords as explosion suppressants and explosion suppression, sometimes also fire-extinguishing agents, but only in combination with gas/dust explosions. The following is an overview of the publicly available papers which the authors consider to be the most relevant.

Moore [1] presented the detailed requirements regarding fire-extinguishing agents that could act as explosion suppressants. In his research, he concentrated on halons, water and powders. For each of these agents, he defined their effective extinguishing concentration. Taveua et al. [2] studied the suppression of aluminium dust explosions in several test reactors with volumes of 1 m³ and 4.4 m³ using two suppressants produced by Fike Corporation labelled PK and SBC. Statistical studies show that the deflagration of metal dusts is a phenomenon occurring almost regularly in various branches of industry and HRD systems seem to be the only effective method of minimising their effects. The conducted studies lead to various conclusions, depending on the scale of the studied phenomenon. For deflagration index K_{st} lower than 300 bar · m/s in a volume of 1 m³ – with the application of an appropriately low activation threshold for the HRD system and correct selection of suppressant concentration – it was possible to reduce the pressure to 1 bar. For the volume of 4.4 m³, the reduction of deflagration was possible only if its index did not exceed 200 bar · m/s, also with a correct system configuration. Concentrations of aluminium dust higher than 500 g/m³ are not found in industrial processes. Taveua et al. [2] think that HRD systems can be used to protect such industrial elements as flow-through air purifiers. In addition, the authors suggest that for higher aluminium dust concentrations a set of smaller HRD systems should be used instead of one, which would reduce the release time and minimise the distance over which the suppressant can be distributed. Another interesting aspect of the paper is the discussion on combining HRD systems with decompression systems.

Sun et al. [3] tested the potential for suppressing the explosions of methane-air mixtures using a new agent based on kaolinite, i.e. a silicate clay mineral. The tests were carried out using a 20-litre spherical reactor and covered various aspects of the extinguishing processes, including chemical and physical. According to the authors, the addition of porous materials to fire-extinguishing powders increases the area in which inhibitors can absorb free radicals. The tests were conducted in three stages, assessing the impact on explosion pressure of the following factors – combustible dust concentration, kaolinite concentration and the choice of powder that can be combined with kaolinite.

Experimental studies are accompanied by numerical tests conducted involving CFD, i.e. computational fluid dynamics. Song & Zhang [4] carried out tests involving an attempt to suppress the detonation of methane-air mixtures inside a pipe using water mist. They used $k-\epsilon$ turbulence models and modelled

wy produkt z punktu widzenia dostawców rozwiązań ochrony przeciwybuchowej. Uzyskana przewaga technologiczna w tym obszarze przekłada się zatem na pozycję rynkową producentów. Informacje dotyczące przedmiotowych rozwiązań dostępne są zazwyczaj pośrednio w naukowych bazach danych, przedstawione w sposób fragmentaryczny oraz niekompletny. Specjalistycznych publikacji na temat badań nad systemami typu HRD w anglojęzycznym piśmiennictwie należy szukać za pomocą takich słów kluczowych, jak *explosion suppressants* oraz *explosion suppression*, czasem także *fire-extinguishing agents*, ale jedynie w połączeniu z *gas/dust explosions*. Poniżej zaprezentowany został skrót najciekawszych – zdaniem autorów – prac, których wyniki są powszechnie dostępne.

Moore [1] przedstawił szczegółowe wymagania dotyczące środków gaśniczych mogących stanowić czynnik tłumiący wybuchy. W swoich badaniach skupił się na halonach i wodzie oraz na proszkach. Dla każdego z tych środków określił efektywne stężenie gaszące. Taveua i inni [2] przeprowadzili badania tłumienia wybuchów pyłu aluminium w kilku reaktorach badawczych o objętościach 1 m³ oraz 4,4 m³ z użyciem dwóch środków tłumiących marki Fike Corporation o oznaczeniach PK i SBC. Z badań statystycznych wynika, że deflagacyjne spalanie pyłów metali to zjawisko występujące niemal regularnie w różnych gałęziach przemysłu, a systemy HRD wydają się jedyną skuteczną metodą minimalizacji ich skutków. Przeprowadzone badania można skonkludować w różny sposób, w zależności od skali badanego zjawiska. Dla indeksów deflagracji K_{st} mniejszych niż 300 bar · m/s w objętości 1 m³ – przy zastosowaniu odpowiednio niskiego progu aktywacji systemu HRD i prawidłowego doboru stężenia środka tłumiącego – możliwe było zredukowanie ciśnienia do 1 bar. Z kolei dla objętości 4,4 m³ ograniczenie zjawiska deflagracji było możliwe jedynie, jeżeli jego indeks nie przekroczył 200 bar · m/s, również przy właściwej konfiguracji systemu. Dla pyłu aluminium w procesach przemysłowych nie spotyka się stężeń wyższych niż 500 g/m³. Taveua i inni [2] uważają, że systemami HRD można zabezpieczać takie elementy przemysłowe, jak przepływowe oczyszczacze powietrza. Dodatkowo, autorzy postulują, aby dla wyższych stężeń pyłu aluminium zastosować zamiast jednego systemu HRD dużej skali układ kilku mniejszych, skracając tym samym czas wyładowania oraz minimalizując dystans, na którym możliwe jest rozproszenie czynnika tłumiącego. Ciekawy aspekt artykułu to również dyskusja nad połączeniem systemów typu HRD z systemami dekompresji.

Sun i inni [3] sprawdzali możliwość tłumienia wybuchów mieszanin metan-powietrze za pomocą nowego czynnika na bazie kaolinitu, tj. minerału z gromady krzemianów ilastych. Badania przeprowadzone zostały przy użyciu 20-litrowego sferycznego reaktora i objęły różne aspekty procesów gaszenia, zarówno chemiczne, jak i fizyczne. Zdaniem autorów, wzbogacenie proszków gaśniczych materiałami o strukturze porowatej zwiększy powierzchnię wchłaniania wolnych rodników przez inhibitory. Badania przeprowadzono w trzech etapach i oceniono w nich, jaki wpływ na ciśnienie wybuchu mają kolejnych czynników: stężenia pyłu palnego, stężenia kaolinitu oraz doboru proszku współdziałającego z kaolinitem.

water mist using a discrete phase model. They conducted the calculations for spray nozzle outputs $0.3\text{--}1.5\text{ kg/m}^3$ of water for drops with a constant diameter of $50\text{--}150\text{ }\mu\text{m}$. A comparison of the calculation results and experimental studies yielded very good results. This leads to the conclusion that despite the adopted simplifications, i.e. selected models and method of space discretisation (the computational grid and analysis of a two-dimensional case), it is possible to model the occurring phenomena with a significant degree of precision. Song & Zhang suggest that the chemical reaction was slowed down as a result of the water receiving heat from the reaction area with a simultaneous energy-intensive phase transition. For water mist drops with other-than-specified diameters, the extinguishing effectiveness is reduced, which is consistent with the theoretical model cited by the authors.

Using CFD techniques would not be possible without deriving the analytical dependences describing flow mechanics with a chemical reaction. An attempt to mathematically model the suppression of explosions of dust-air mixtures was made by Oleszczak and Klemens [5]. The generalised description of the exchange of mass, momentum and energy between the gaseous and liquid phases, as suggested by these authors, can be considered particularly valuable. It was obtained by adding relevant expressions describing the transfer of the said physical quantities in non-stationary processes to the Navier-Stokes equations.

More information on explosion suppression (for both gas and dust) can be found in review articles, which collect and systematise the results of studies on process safety engineering. One very good and extensive review is the one written by Wang et al. [6]. The introduction contains basic information about explosiveness, detonation, and the DDT (deflagration-to-detonation transition) phenomenon. The individual chapters are dedicated to the passive and active suppression methods and the total number of papers and scientific reports analysed for the purposes of this work exceeds 60.

Active explosion suppression systems were also the subject of analyses by scientists from the Warsaw University of Technology [7]. As a result of the implementation work on HRD systems, i.e., an assessment was carried out of the medium carrying the fire extinguishing agent from its tank to the protected area where the explosion was developing.

Continuing their work on a fire extinguishing system, Klemens et al. [8] extended their research to include an analysis of the impact of operating conditions on suppression effectiveness, including the possibility that the fire extinguishing powder could aggregate in tanks as a result of the system vibrations. In another paper, Gieras et al. [9] assessed the effectiveness of the HRD system in terms of interrupting the combustion process of a corn starch-air mixture and a methane-air mixture. The chamber used in their study had a volume of 1.3 m^3 .

Obok badań eksperymentalnych prowadzone są także prace o charakterze numerycznym z wykorzystaniem technik CFD, tj. obliczeniowej mechaniki płynów. Song i Zhang [4] wykonali badania obejmujące próbę tłumienia detonacji mieszanin metan-powietrze w rurze za pomocą mgły wodnej. Użyli oni modelu turbulencji $k\text{-}\epsilon$, natomiast mgłę wodną zamodelowali za pomocą modelu fazy dyskretyzowanej. Obliczenia przeprowadzili dla wydatków rozpylaczy z zakresu $0,3\text{--}1,5\text{ kg/m}^3$ wody dla kropli o stałej średnicy z zakresu $50\text{--}150\text{ }\mu\text{m}$. Porównanie wyników obliczeń z badaniami eksperymentalnymi dało bardzo dobre rezultaty. Utwierdziło to badaczy w przekonaniu, że pomimo przyjętych uproszczeń, tj. dobranych modeli i sposobu dyskretyzacji przestrzeni (siatka obliczeniowa i rozważanie przypadku dwuwymiarowego), możliwe jest całkiem dokładne zamodelowanie zachodzących zjawisk. Song i Zhang postulują, że spowolnienie reakcji chemicznej następuje w wyniku odebrania przez wodę ciepła ze strefy reakcji przy jednoczesnej, energochłonnej, przemianie fazowej. Dla kropli mgły wodnej o średnicy spoza ww. zakresu, skuteczność gaszenia słabnie, co jest zgodne z przytoczonym przez badaczy modelem teoretycznym rozważanych zjawisk.

Wykorzystanie technik CFD nie byłoby możliwe bez wyprowadzenia analitycznych zależności opisujących mechanikę przepływu z reakcją chemiczną. Próbkę matematycznego zamodelowania procesu tłumienia wybuchów mieszanin pyłowo-powietrznych podjęli Oleszczak i Klemens [5]. Za szczególnie wartościowy należy uznać zaproponowany przez badaczy uogólniony opis wymiany masy, pędu oraz energii pomiędzy fazą gazową a ciekłą. Dokonano tego poprzez dodanie do równania Naviera-Stokesa odpowiednich wyrazów opisujących transfer wyżej wymienionych wielkości fizycznych w procesach niestacjonarnych.

Więcej informacji w obszarze tłumienia detonacji (zarówno gazowych, jak i pyłowych) można znaleźć w artykułach przeglądowych, w których zebrano i usystematyzowano wyniki badań dotyczących inżynierii bezpieczeństwa procesowego. Bardzo dobrym i szerokim opracowaniem, zdaniem autorów, jest to napisane przez Wang i innych [6]. We wstępie zawarte zostało wprowadzenie do tematyki wybuchowości, detonacji oraz zjawiska DDT. Pasywnym i aktywnym metodom tłumienia poświęcone są odpowiednio oddzielne rozdziały, a łączna liczba przeanalizowanych na poczet omawianej pracy artykułów i doniesień naukowych przekracza 60.

Aktywne systemy tłumienia wybuchu były także przedmiotem analiz badaczy z Politechniki Warszawskiej [7]. W wyniku prac wdrożeniowych systemów HRD dokonano m.in. oceny medium niosącego środek gaśniczy z jego zasobnika do obszaru chronionego, w którym rozwijał się wybuch.

Kontynuując prace nad swoim systemem gaśniczym, Klemens i inni [8] rozszerzyli badania o analizę wpływu warunków jego eksploatacji na skuteczność tłumienia, w tym możliwość agregacji proszku gaśniczego w zbiornikach wskutek drgań instalacji. W innej pracy Gieras i inni [9] dokonali oceny skuteczności systemu HRD pod kątem przerywania procesu spalania mieszaniny skrobi kukurydzianej i powietrza oraz metanu i powietrza. Użyta przez nich komora miała objętości $1,3\text{ m}^3$.

Methods

After about 30–100 ms from the time of ignition in an explosion of the dust-air mixture, the pressure reaches its maximum value (expressed as P_{max}) in a given closed volume. The basic concept behind the suppression systems involves:

- detecting rapidly-increasing pressure inside a protected volume
- launching the extinguishing system.

Figure 1 presents a schematic diagram.

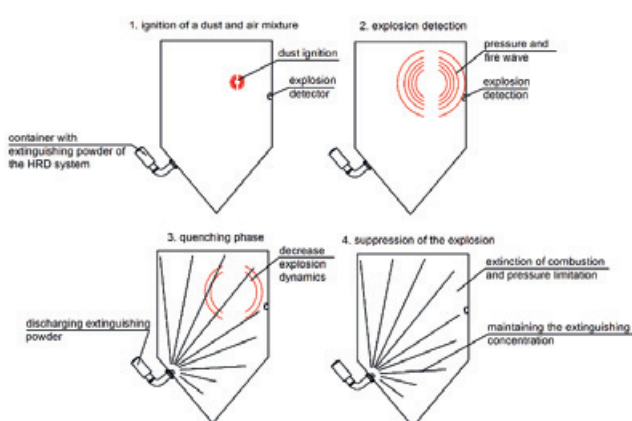


Figure 1. The principle of the HRD explosion suppression system

Rycina 1. Zasada działania systemu tłumiącego wybuch HRD

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Explosion suppression systems are usually deployed in areas where other solutions, such as the release of explosion pressure cannot be used due to the location of the technological apparatus or other circumstances specified in the risk assessment. It is sometimes possible (and used in practice) to combine explosion venting and explosion suppression systems. Such combinations respond to cases in which it is impossible to use an adequately high venting volume (size limitations), or when it is necessary to reduce the so-called impact of flame, which is released into the venting space.

In practice, suppression systems are used to protect equipment with a wide variety of volumes from 0.25 m³ up to 1000 m³. Suppression systems ensure the safe extinguishing of dust explosions in the St1 and St2 explosion classes. It is also possible to protect St3 dust-air mixtures (highly explosive) against explosions. However, these systems are limited to a narrow range of values of suppressed pressures.

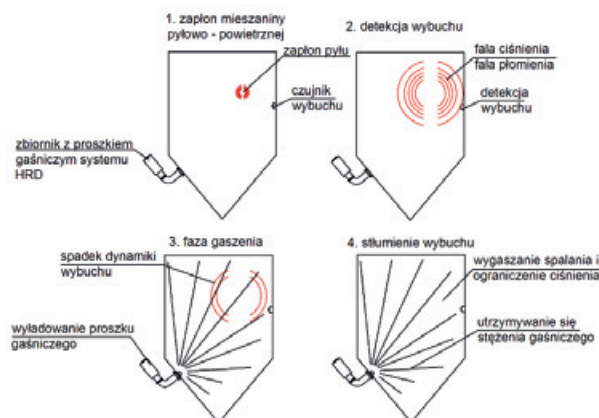
In non-protected closed volumes, the pressure accompanying the explosion increases in accordance with the curve (fig. 2 – unsuppressed pressure). In a typical explosion of the dust-air mixture, the pressure might reach 10 bar. Such a pressure is too high for most standard process equipment. For ex-

Metody

Ciśnienie podczas wybuchu mieszaniny pyłowo-powietrznej po ok. 30–100 ms od momentu zapłonu osiąga wartość maksymalną (ozn. P_{max}) w danej objętości zamkniętej. Podstawowa idea działania systemów tłumiących wybuchy polega na:

- wykryciu dynamicznie wzrastającego ciśnienia wewnątrz zabezpieczanej kubatury,
- uruchomieniu systemu gaszącego.

Ideowy schemat działania przedstawiono na rycinie 1.



Systemy tłumienia wybuchów używane są zwykle w obszarach, w których nie udaje się zastosować innego typu rozwiązania, np. odprowadzenia ciśnienia wybuchu ze względu na lokalizację aparatu technologicznego lub inne okoliczności określone w wykonanej ocenie ryzyka. Niekiedy możliwe (i używane w praktyce) jest łączenie systemów odciążających z systemami tłumiącymi wybuch. Kombinacje takie są odpowiedzią na przypadki, w których niemożliwe jest użycie dostatecznie dużej objętości odciążającej (ograniczenia wymiarowe), bądź gdy konieczne jest zmniejszenie tzw. efektu oddziaływania płomienia, który uwalniany jest do przestrzeni odciążającej.

W praktyce systemy tłumienia stosowane są do zabezpieczenia urządzeń w szerokim zakresie objętości od 0,25 m³ aż do 1000 m³. Systemy tłumiące zapewniają bezpieczne wygaszenie wybuchu pyłów w klasach wybuchowości St1 oraz St2. Możliwa jest również ochrona przed wybuchem mieszanin pyłowo-powietrznych klasy St3 (silnie wybuchowych), jednakże działanie tych systemów ograniczone jest do wąskiego przedziału wartości tłumionych ciśnień.

W niechronionych objętościach zamkniętych ciśnienie związane z wybuchem wzrasta zgodnie z krzywą (ryc. 2 – ciśnienie niestłumione). Ciśnienie przy typowym wybuchu mieszaniny py-

ample, an average silo can withstand overpressure of up to 0.4 bar. One should also bear in mind that the explosion pressure is characterised by rapid growth. If the suppression system is activated at an appropriate time, the pressure increase will be interrupted to assume the expected shape according to the curve – suppressed explosion (fig. 2). The lower value of pressure is called reduced explosion pressure P_{red} .

łowo-powietrznej może sięgać do 10 bar. Ciśnienie o tej wartości jest zbyt duże dla większości urządzeń procesowych o typowej konstrukcji. Przykładowo przeciętny silos wytrzyma nadciśnienie maksimum 0,4 bar. Należy także mieć na uwadze, że ciśnienie wybuchu charakteryzujące się wysoką dynamiką wzrostu. Jeśli system tłumiący zostanie aktywowany w odpowiedniej chwili, to nastąpi zatrzymanie przyrostu ciśnienia, które przewidywalnie ukształtuje się zgodnie z krzywą – stłumiony wybuch (ryc. 2). Niższa wartość ciśnienia nazywana jest zredukowanym ciśnieniem wybuchu P_{red} (z ang. *reduced explosion pressure*).

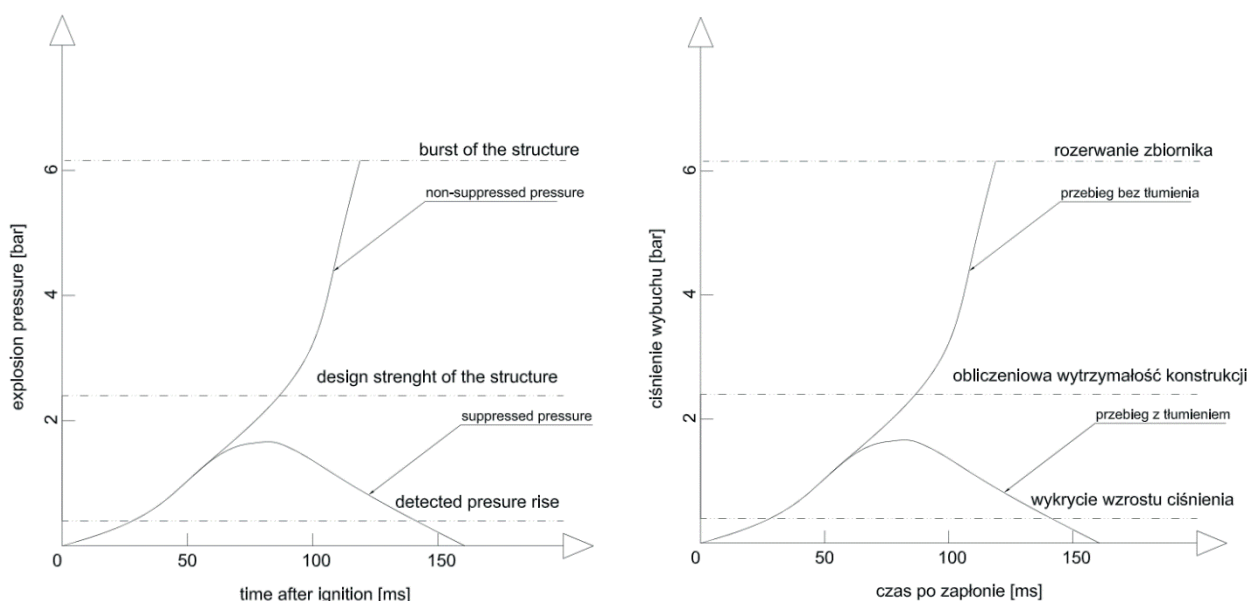


Figure 2. The theoretical course of the explosion in a closed volume as a function of time and pressure (with and without explosion suppression)

Rycina 2. Teoretyczny przebieg wybuchu w zamkniętej objętości w funkcji czasu i ciśnienia (z tłumieniem i bez tłumienia wybuchu)

Source: Prepared on the basis of: Barton J., *Dust explosion prevention and protection. A practical guide.*, published by IChemE, Rugby, 2002, p. 77.

Źródło: Opracowanie na podstawie: Barton J., *Dust explosion prevention and protection. A practical guide.*, wyd. IChemE, Rugby, 2002, str. 77.

For a dust-air explosion within a closed volume, the value of reduced pressure P_{red} is conditional on the following factors:

- the type of explosion detectors used, their location inside the protected process equipment and the detection method employed (electromagnetic radiation, exceeding the threshold pressure value, pressure increase value),
- fire-extinguishing agent performance,
- the number and distribution of HRD equipment and the resultant concentration of the suppressant,
- the geometry of the protected volume.

The pressure generated at an early stage of the explosion (dust explosions are mostly deflagrations) in an enclosed space is propagating in the medium faster than the flame front. Blast wave velocity is similar to the speed of sound propagation in the medium. The basic device used to detect the explosion is the sensor mounted inside the protected device. The sensors used

Dla wybuchu pyłowo-powietrznej w zamkniętej objętości, wielkość ciśnienia zredukowanego P_{red} można uzależnić od niżej wymienionych czynników:

- typu detektorów wykrywających wybuch, ich położenia wewnątrz chronionego aparatu procesowego oraz stosowanego sposobu detekcji (promieniowanie elektromagnetyczne, przekroczenie wartości ciśnienia progowego, wartość przyrostu ciśnienia),
- skuteczności środka gaśniczego,
- liczby i rozmieszczenia gaśnic HRD, a co za tym idzie wypadkowej koncentracji medium tłumiącego,
- geometrii chronionej kubatury.

Ciśnienie wytworzone we wczesnej fazie wybuchu (wybuchowy pyłowy w większości są typu deflagracyjnego) w zamkniętej przestrzeni rozchodzi się w ośrodku szybciej niż front płomienia. Prędkość przemieszczania fali ciśnienia zbliżona

for detecting explosions are set to identify exceeded pressure thresholds inside the protected space, pressure increase speeds greater than the predefined value, and flaming combustion. The detection points must take into account both the operation of the sensor under conditions typical of the system, and the unfavourable variants of process conditions, including increased temperatures, humidity or pressure connected with a given industrial process. The threshold values in sensors performing the detection function may be set to a specific value. This allows the use of detectors in an appropriate configuration for specific processes and phenomena which may generate interference.

Membrane sensors are the most common in the HRD systems used. The deformation of the sensor membrane generates a signal in the form of voltage, the value of which is proportional to the force causing the deformation. In practice, this facilitates the sensitivity configuration of the explosion suppression system. There are three types of sensors: single-membrane – typically used for measuring pressure values; with two smaller membranes designed to measure the rate of pressure increase; and combined sensors containing both the pressure membrane/membranes and an infrared sensor, which detects the occurrence of the flame (optical probe). Such a probe detects electromagnetic radiation in the infrared range (which corresponds to the frequencies emitted during combustion).

HRD containers are usually mounted outside the protected areas (on their external surfaces), while the nozzles spreading the extinguishing agent are inserted into the interior of the protected device. The containers differ by manufacturer in shape and size. In practice, containers with volumes from 3 to 60 dm³ and external diameters from 20 to 130 mm are the most common. Manufacturers use various designs of containers, spreader nozzles, and extinguishing media. Some containers are filled with extinguishing media under a pressure of 50 to 60 bar. Increasing the pressure causes the tank's lid to open and the extinguishing material is forced into the protected space. There are a variety of methods of closing a tank with the extinguishing medium. Some include advanced structures, which, instead of a torn-off membrane feature ultra-fast solenoid valves. Such valves can react and begin releasing the extinguishing mixture in a matter of milliseconds. Below (fig. 3) is a cross-section of a HRD demonstrator container produced in a project implemented by CNBOP-PIB and financed by NCRD entitled "Innovative explosion protection technologies including for highly protected facilities".

jest do prędkości rozchodzenia się dźwięku w danym ośrodku. Podstawowym urządzeniem, którego zadaniem jest wykrycie wybuchu, jest czujnik zamontowany wewnątrz chronionego aparatu. Czujniki stosowane do detekcji wybuchu działają w oparciu o przekroczenie zakładanego progu ciśnienia wybuchu wewnątrz chronionej przestrzeni, bądź gdy prędkość narastania ciśnienia przekroczy zadaną wartość lub też zostanie wykryte spalanie płomieniowe. Punkty detekcji muszą uwzględniać zarówno pracę czujnika w typowych dla instalacji warunkach, jak i niekorzystny wariant warunków procesowych np. podwyższoną temperaturę, wilgotność czy zwiększone ciśnienie związane z danym procesem przemysłowym. Wartości progowe w sensorach pełniących funkcję detekcji można ustawić na zadany poziom. Pozwala to na zastosowanie detektorów w odpowiedniej konfiguracji, dla konkretnego procesu i zjawisk, które mogą wywołać zakłócenia.

Najczęściej w stosowanych systemach HRD spotykane są czujniki membranowe. Wskutek odkształcenia membrany czujnika generowany jest sygnał w postaci napięcia, którego wartość jest proporcjonalna do siły wywołującej odkształcenie. W praktyce pozwala to na wygodną konfigurację czułości systemu tłumienia wybuchów. Spotykane są trzy typy czujników: z pojedynczą membraną – służące zazwyczaj do pomiarów wartości ciśnienia – z dwiema mniejszymi membranami, których zadaniem jest zazwyczaj pomiar szybkości narastania ciśnienia oraz czujniki łączone zawierające zarówno membranę/membrany ciśnieniowe, jak i czujnik podczerwony IR – który rejestruje wystąpienie płomienia (sonda optyczna). Sonda taka rejestruje promieniowanie elektromagnetyczne w paśmie podczerwieni (co odpowiada częstotliwościom emitowanym podczas spalania).

Butle HRD montuje się zazwyczaj na zewnątrz przestrzeni chronionych (na ich zewnętrznych powierzchniach), natomiast dysze rozpraszające środek gaśniczy wyprowadzone są do środka chronionego urządzenia. W zależności od producenta butle mają różne rozmiary i kształty. W praktyce najczęściej stosowane są jednak butle o pojemnościach od 3 do 60 dm³ i średnicach zewnętrznych od 20 do 130 mm. Producenci stosują różnorodne konstrukcje butli, rozpraszaczy i mediów gaśniczych. Niektóre butle nabijane są medium gaszącym pod ciśnieniem, wynoszącym zazwyczaj od 50 do 60 bar. Wzrost ciśnienia powoduje otwarcie przesłony zamykającej zbiornik i wtłoczenie materiału gaszącego do chronionej przestrzeni. Sposoby zamknięcia zbiornika z medium gaśniczym są różnorodne. Na przykład zaawansowane konstrukcje zamiast zrywalnej membrany wyposażone są w ultraszybkie elektrozawory. Zawory takie są w stanie zareagować i zacząć uwalniać mieszaninę gaszącą w przeciągu kilku milisekund. Poniżej (ryc. 3) przedstawiono przekrój demonstratora butli HRD wytworzonego w projekcie zrealizowanym przez CNBOP-PIB i finansowanym przez NCBR pn. „Innowacyjne technologie zabezpieczeń przed wybuchem w tym obiektów szczególnie chronionych”.

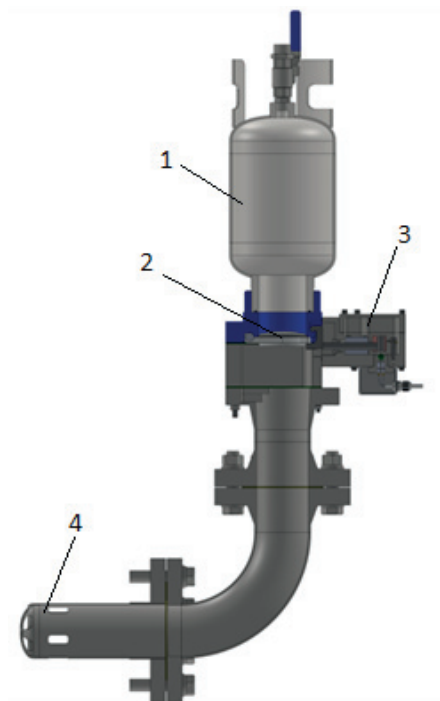


Figure 3. Structure of an HRD extinguisher: (1) tank, (2) valve, (3) opening section, (4) spray nozzle

Rycina 3. Budowa butli HRD: (1) zbiornik, (2) zawór, (3) sekcja otwierająca, (4) dysza rozpylająca

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Both the valve and the coupling of the container and the nozzle have such internal diameters that reduce the resistance of discharging the extinguishing agent, while retaining the utility of the device. The time for the valve to open and the discharge rate are the critical factors which determine the effectiveness of explosion suppression. The value characterising the amount of discharged suppression agent in time is defined as dm/dt . This value is directly proportional to the area of the cross-section through which the extinguishing medium flows – marked as A – and the product of the root of extinguishing medium pressure P_{N2} . This relation can be expressed as:

$$\frac{dm}{dt} \approx A\sqrt{P_{N2}} \quad (1)$$

It follows from the relation above that the size of the cross-section of the discharging area A is more significant than the storage/injection pressure of the extinguishing medium.

When the suppression system is activated, the extinguishing medium stored in the container moves under pressure towards the spreader nozzle and then into the protected closed space. In some cases, another membrane is installed between the nozzle (and container) and the protected volume. It is torn during the release of pressure from the container, which also causes the extension of the telescopic nozzle to a specific depth of the protected device. This solution protects the nozzles from clogging during normal device operation and does not interfere with the flow during the production process. The structure of the nozzle depends on the type of suppressant. Fire-extinguishing powders often require special nozzle geometry, as the aim is to spread

Zarówno zawór, jak i łączenie butli z dyszą posiadają tak dobraną średnicę wewnętrzną, aby wyładowanie środka gaśniczego przebiegało z jak najmniejszymi oporami przy jednoczesnym zachowaniu przez urządzenie jego funkcjonalności użytkowej. Czas otwarcia zaworu i szybkość rozładowania butli są czynnikami krytycznymi – to one decydują o skutecznym stłumieniu wybuchu. Wielkość charakteryzująca ilość rozładowanej masy tłumiącej w czasie oznaczana jest jako dm/dt . Wartość ta jest wprost proporcjonalna do powierzchni przekroju poprzecznego, przez który przepływa środek gaśniczy – oznaczanej jako A – i iloczynowi pierwiastka ciśnienia przechowywania masy gaśzącej P_{N2} . Zależność tę można zapisać, jako:

$$\frac{dm}{dt} \approx A\sqrt{P_{N2}} \quad (1)$$

Powyższa zależność stanowi o tym, że wielkość przekroju powierzchni wyładowania A ma większe znaczenie niż ciśnienie przechowywania/wtrysku środka gaśniczego.

Przechowywany w butli środek gaśniczy w przypadku uruchomienia systemu tłumiącego przemieszcza się pod ciśnieniem do dyszy rozpraszającej – a następnie do chronionej przestrzeni zamkniętej. Niekiedy dyszę (i butlę) od chronionej objętości oddziela kolejna membrana, która zrywana jest podczas uwalniania ciśnienia z butli, co jednocześnie powoduje wysunięcie teleskopowej dyszy na określoną głębokość chronionego urządzenia. Rozwiązanie takie zabezpiecza dyszę przed zatkanie podczas normalnej pracy chronionego urządzenia i nie zaburza przepływu podczas procesu produkcyjnego. Budowa dyszy zależna jest oczywiście od stosowanego typu środka tłumiącego. W przy-

the agent in the protected volume in a fast and even manner. The main requirements set for HRD systems can be reduced to three general points:

- a high discharge factor of the suppressing mass,
- a highly dynamic discharged material
- sufficient spreading angle of the suppressant.

It is logical that both the discharge factor and the high rate of discharge are connected with the flow diameter of the extinguishing mass and the pressure forcing the agent out of the nozzle. These values also depend on the bends and curves between the flow-through elements. The spread angle largely depends on nozzle structure and geometry and the speed at which the extinguishing medium moves. A well-designed system becomes empty after less than 100 ms, while the first dose of the extinguishing material reaches the endangered area after just 10 ms from the moment of discovering the threat. The container can discharge the extinguishing agent due to the storage pressure (surge) and movement speed to a distance of 6–8 m.

A spherical acid-resistant steel tank with a volume of 1 m³ was produced for the purposes of research in the abovementioned project. A cover equipped with a fixing mechanism with a slewing ring propelled by a pneumatic actuator was used for closing the tank. A set of dispersion systems was installed in the tank to generate an explosive atmosphere – a mixture of dust and air. The system injecting dust into the sphere and the dust and air mixing system were produced in accordance with the PN-EN14034 standards. The tank has security measures guaranteeing an appropriate level of work safety, e.g. a lid closure sensor, an actuator lock, a system preventing the opening of the lid on the sphere in the case of excess pressure inside (fig. 4). The HRD extinguishers used can be installed at 90° on the DN75 flange connection visible in figure 5.

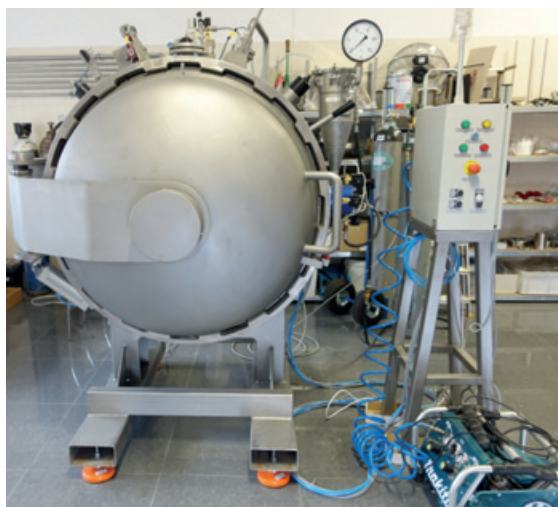


Figure 4. Test stand

Rycina 4. Stanowisko badawcze

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

padku proszków gaśniczych częstokroć wymaga się specjalnej geometrii dyszy, która ma na celu szybkie i równomierne rozproszenie medium w objętości chronionej. Główne wymogi stawiane systemom HRD można ograniczyć do trzech ogólnych punktów:

- wysoki współczynnik wyładowania masy tłumiącej,
- wysoka dynamika wyładowanego materiału,
- dostateczne kątowne rozproszenie środka tłumiącego.

Logiczne jest, że zarówno współczynnik wyładowania, jak i wysoka prędkość wyładowania ściśle związane są ze średnicą przepływu masy gaszącej i ciśnieniem miotającym ładunkiem. Wielkości te zależne są również od zagięć czy zakrętów pomiędzy elementami przepływowymi. Kątowe rozpraszanie uwarunkowane jest przede wszystkim budową i geometrią dyszy oraz w dużej mierze prędkością przemieszczania się ładunku gaszącego. Dobrze zaprojektowany system opróżnia się całkowicie w czasie krótszym niż 100 ms, zaś pierwsza dawka materiału gaszącego dociera do zagrożonej przestrzeni już po ok. 10 ms od momentu wykrycia zagrożenia. Butla jest w stanie miotać środkiem gaszącym z racji ciśnienia przechowywania (wyrzutu) i prędkości przemieszczania się ładunku na odległość 6–8 m.

Na potrzeby badań w przywołanym wcześniej projekcie wykonano sferyczny zbiornik ze stali kwasoodpornej o objętości 1 m³. Do jego zamknięcia zastosowano pokrywę wyposażoną w mechanizm bagnetowy z obrotowym pierścieniem napędzanym siłownikiem pneumatycznym. W zbiorniku zainstalowano zestaw układów dyspersyjnych służących do tworzenia atmosfery wybuchowej – mieszaniny pyłu z powietrzem. Układy wtrysku pyłu do kuli oraz system mieszania pyłu i powietrza wykonano zgodnie z wymaganiami serii norm PN-EN14034. Zbiornik posiada zabezpieczenia gwarantujące odpowiedni poziom bezpieczeństwa pracy, m.in.: czujnik domknięcia pokrywy, blokadę siłownika, układ uniemożliwiający otwarcie pokrywy w kuli przy nadciśnieniu w jej wnętrzu (ryc. 4). Zastosowane gaśnice HRD mają możliwość montażu pod kątem 90° na przyłączy kołnierzowym DN75 widocznym na rycinie 5.



Figure 5. Flange connection DN75

Rycina 5. Przyłącze kołnierzowe DN75

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

A piezo-electric dynamic pressure sensor coupled with a voltage signal boosting system and data acquisition system was placed inside the tank chamber. This system allows recording explosion pressure changes with time. The ignition of a dust-air cloud is triggered by pyrotechnic igniters. The pressure effect of the ignition source was determined during blank tests, allowing to rule it out by introducing appropriate adjustments in the recording software. Below is a description of issues connected with the use of pyrotechnic igniters in the studied technology demonstrator system. An element which may introduce uncertainty in determining the extinguishing effectiveness of the HRD system in a small tested area was the impact of ignition heads with an ignition energy of 2×5 kJ, which caused a temporary surge in pressure recorded in the chart below (fig. 6).

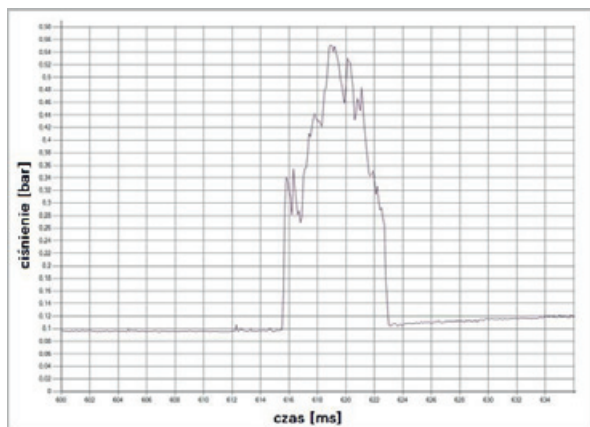


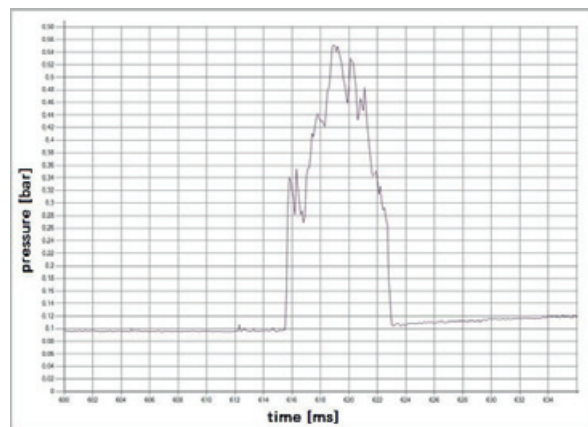
Figure 6. Registered pressure stroke from the 2×5 kJ ignition heads

Rycina 6. Zarejestrowany skok ciśnienia pochodzący od główek zapalczyc 2 $\times$ 5 kJ

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Wewnątrz komory zbiornika umieszczono piezoelektryczny czujnik ciśnienia dynamicznego, który został połączony z układem wzmacnienia sygnału napięciowego oraz systemem akwizycji danych. System ten umożliwia rejestrację zmian ciśnienia wybuchu w czasie. Zapłon obłoku pyłowo-powietrznego realizowany jest przez wybuch zapalników pirotechnicznych. Ciśnieniowy efekt źródła zapłonu został określony w trakcie tzw. ślepych prób, co pozwoliło na jego usunięcie poprzez wprowadzenie odpowiednich poprawek w oprogramowaniu rejestrującym. Poniżej opisano problematykę związaną z zastosowaniem pirotechnicznego źródła zapłonu w badanym układzie demonstratora. Elementem mogącym wprowadzić kryterium niepewności w oznaczeniu skuteczności gaśniczej systemu HRD w małej przestrzeni badawczej był wpływ główek zapalczyc o energii zapłonu 2×5 kJ, których zapłon powodował chwilowy skok ciśnienia zarejestrowany na poniższym wykresie (ryc. 6).



At an early stage, due to the injection of dust into the tank with a volume of 1 m^3 a pressure increase to about 0.12 bar is recorded. This is combined with the effect of ignition of ignition heads, which causes a pressure surge in the tank, which on average reaches values from 0.3 bar to as much as slightly over 0.6 bar. Explosion pressure sensors activate the system when the preset value is exceeded. This value is set in the range of 0.05–0.5 bar. Therefore, ignition heads alone may set off the HRD extinguishers. To avoid such unfavourable effect that would interfere with the test procedure, the ignition energies of dust-air mixtures were reduced to 5 kJ. The obtained P_{ex} and $(dp/dt)_{\text{ex}}$ values are similar to the values obtained for the ignition energy of 2×5 kJ. At the same time, the value of activation pressure (launching the injection of the extinguishing powder) at 0.5 bar was retained to rule out the possibility of prematurely activating the extinguishing system.

One of the most important elements of the system is the explosion detection sensor, which was designed for early explo-

W początkowej fazie, na skutek wtrysku pyłu do wnętrza zbiornika o pojemności 1 m^3 , rejestrowany jest wzrost ciśnienia do około 0,12 bar. Dodatkowo nakłada się na to efekt zapłonu główek zapalczyc, który wywołuje skok ciśnienia w zbiorniku, średnio do wartości 0,3 bar, a nawet przekracza nieznacznie 0,6 bar. Czujniki ciśnienia wybuchu aktywują działanie systemu po przekroczeniu ustalonej wartości. Wartość tę ustawia się w zakresie 0,05–0,5 bar. Może zatem dojść do sytuacji, w której same główki zapalcze uruchomią gaśnice HRD. W celu uniknięcia takiego niekorzystnego efektu, który zaburzyłby proces badania, obniżono energię zapłonu mieszanin pyłowo-powietrznych do 5 kJ. Osiągane wartości P_{ex} i $(dp/dt)_{\text{ex}}$ są zbliżone do wartości osiąganych w przypadku stosowania energii zapłonu 2×5 kJ. Jednocześnie pozostawiono wartość ciśnienia aktywacji (uruchomienia wtrysku proszku gaśniczego) na poziomie 0,5 bar w celu wyeliminowania zbyt wczesnego aktywowania systemu gaśniczego.

Jednym z ważniejszych elementów systemu jest czujnik detekcji wybuchu, którego zadaniem jest wczesne wykrycie wybu-

sion detection inside the test chamber. The detector is composed of two dynamic pressure sensors coupled with a signal analysis system and power supply units. The method of detecting the explosion can be selected. The first method involves programming the activation threshold (activation pressure P_a) to a set range. The second one consists in programming an appropriate pressure increase threshold (activation increment $(dp/dt)_a$) which activates the extinguishing system.

Two HRD extinguishers with tank volumes 5 dm³ and 20 dm³ were produced for the purposes of the research project and tests. After receiving the activating signal, the pistons release the lid of the HRD container and eject the powder stored inside. The container tank is under a constant inert gas pressure. The whole process takes no more than 100 ms. Less than 8 ms is needed to open the piston. Figure 7 presents a container with a working volume of 5 dm³ along with an activator system for the lid and a block with a stop valve.

chu w komorze badawczej. Detektor składa się z dwóch czujników ciśnienia dynamicznego, połączonych z układem analizy sygnału i zasilaczami. Istnieje możliwość ustawienia sposobu wykrycia wybuchu. Pierwszy polega na zaprogramowaniu progu aktywacji (ciśnienia aktywacji P_a) w ustalonym zakresie. Drugi polega na zaprogramowaniu odpowiedniego progu przyrostu ciśnienia (przyrost aktywacji $(dp/dt)_a$), przy którym następuje uruchomienie systemu gaśniczego.

Na potrzeby projektu badawczego i badań wykonano dwie gaśnice HRD o pojemności zbiornika ze środkiem gaśniczym 5 dm³ i 20 dm³. Po otrzymaniu sygnału aktywującego układ tłoków zwalnia kłapę spustową butli HRD i wyrzucany jest zawarty w niej proszek. Zbiornik butli jest pod stałym ciśnieniem gazu inertnego. Cały proces trwa nie dłużej niż 100 ms. Otwarcie tłoka przebiega w czasie poniżej 8 ms. Rycina. 7 przedstawia butlę o objętości roboczej 5 dm³ wraz układem aktywacji kłapy spustowej i bloku z zaworem zamykającym.



Figure 7. Fragment of HRD fire extinguisher with vol. 5 dm³

Rycina 7. Fragment gaśnicy HRD o obj. 5 dm³

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Results

The study involved a number of tests, including the extinguisher discharge test recorded using a high-speed camera (1,000 frames per second). Frame-by-frame photographs of specific tests and applications are shown in figures 8–11. The first test involved a system without a nozzle. The working pressure inside the extinguisher was determined at 60 bar and the mass of the extinguishing powder was 1 kg. The stages of discharge of the powder and inert gas mixture are shown in figures 8 and 9. The first sequence of four photographs (fig. 8) presents the following times (from top) – 25 ms, 30 ms, 40 ms, and 50 ms. The next sequence (fig. 9) shows 60 ms, 70 ms, 80 ms, 90 ms, and 100 ms.

It was found that 90% of the mass of the extinguishing powder is discharged over less than 70 ms. The most intensive ejection of dust occurs at about 30–40 millisecond. After

Wyniki

W ramach badań przeprowadzono szereg prób, w tym test wyładowania gaśnic –zarejestrowany za pomocą szybkiej kamery (1000 klatek/s). Poklatkowe zdjęcia konkretnych badań i aplikacji przedstawiają ryciny 8–11. W pierwszej kolejności badaniom poddano układ bez zastosowania dyszy. Ciśnienie robocze w gaśnicy ustalono na wartość 60 bar, a masę proszku gaśniczego na 1 kg. Fazy wypływu mieszaniny proszku z gazem inertnym widoczne są na ryc. 8 i 9. Pierwsza sekwencja czterech zdjęć (ryc. 8) przedstawia kolejno (od góry) czasy – 25 ms, 30 ms, 40 ms, 50 ms. Następną sekwencją fotografii (ryc. 9) to czasy 60 ms, 70 ms, 80 ms, 90 ms, 100 ms.

Oceniono, że 90% masy proszku gaśniczego wyładowywane zostaje w czasie poniżej 70 ms. Najbardziej intensywny wyrzut pyłu następuje około 30–40 milisekund. Po 70 ms widoczna

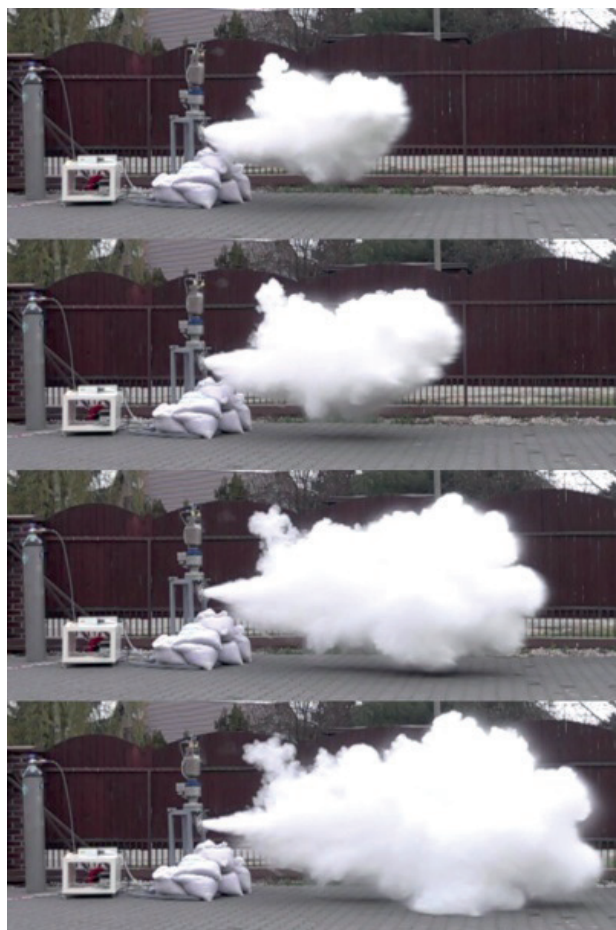


Figure 8. Dispersion of spray powder without nozzle (from above)
25, 30, 40, 50 ms

Rycina 8. Rozproszenie proszku gaśniczego bez dyszy (od góry)
25, 30, 40, 50 ms

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.



Figure 9. Dispersion of spray powder without nozzle (from above)
60, 70, 80, 90, 100 ms

Rycina 9. Rozproszenie proszku gaśniczego bez dyszy (od góry)
60, 70, 80, 90, 100 ms

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

70 ms the cloud visible in the photograph moves and extends, but the outflow of the powder is insignificant. A small part of the extinguishing powder remains inside the extinguisher and nozzle after the outflow stops.

The second stage involved tests using the nozzle placed at the extinguisher outlet, the purpose of which was to spread the extinguishing powder while retaining the conditions as for the test without the nozzle. Figures 10 and 11 below present the shape of the cloud at specific milliseconds of the test.

It was found that almost all of the mass of the extinguishing powder is discharged over less than 80 ms. After comparing both cases (with and without the nozzle), it should be noted that the use of a spreader nozzle slows down the ejection of the extinguishing powder by about 10 ms. However, if the nozzle is present, the powder stream becomes ring-shaped around the nozzle. Therefore, it may be concluded that using the nozzle leads to a more even distribution of the powder within the protected space. This means that a higher-volume area would be filled with the extinguishing agent, improving the effectiveness of the system.

na zdjęciu chmura porusza się i rozszerza, ale wypływ proszku jest nieznaczny. Niewielka część proszku gaśniczego pozostaje w gaśnicy i w dyszy po zakończeniu wypływu.

W drugim etapie wykonano badania z użyciem dyszy umieszczonej na zakończeniu wylotu z gaśnicy, której celem było rozproszenie proszku gaśniczego, przy zachowaniu warunku jak dla próby bez dyszy. Na ryc. 10 i 11 przedstawiono kształt chmury w poszczególnych milisekundach testu.

Zaobserwowano, że praktycznie cała masa proszku gaśniczego wyładowywana jest w czasie krótszym niż 80 ms. Porównując oba przypadki (z dyszą i bez niej), należy zauważyć, że zastosowanie dyszy dyspersyjnej spowalnia wyrzut proszku gaśniczego o ok. 10 ms. Jednakże w przypadku obecności dyszy daje się zaobserwować ukierunkowanie strumienia proszku na kształt pierścienia wokół dyszy. Można wobec tego wnioskować, że użycie dyszy pozwala na uzyskanie bardziej równomiernego rozkładu proszku w chronionej przestrzeni. Oznacza to, że w tym przypadku obszar o większej kubaturze zostanie wypełniony środkiem gaśniczym, a tym samym poprawiona zostanie skuteczność systemu.

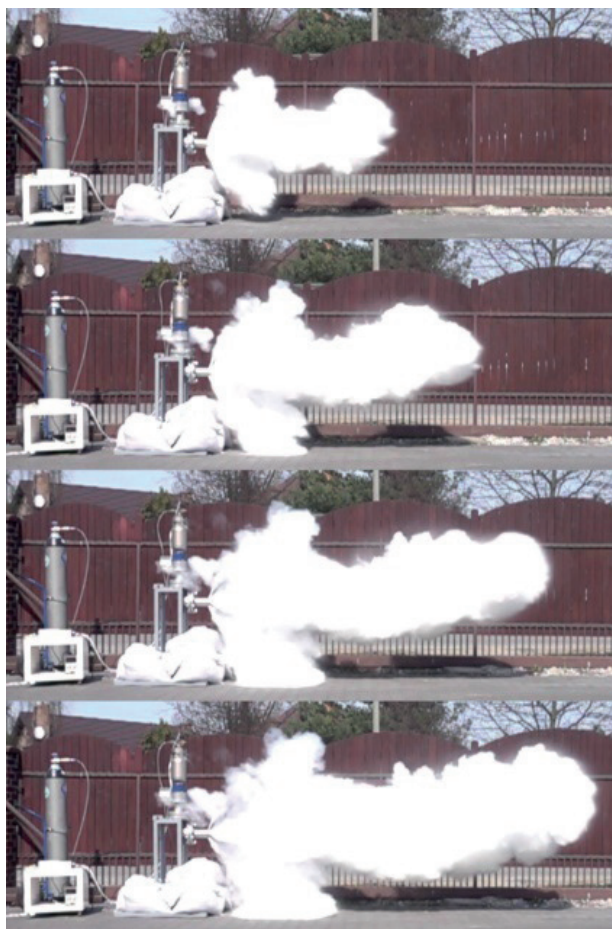


Figure 10. Dispersion of spray powder with nozzle (from above)
25, 30, 40, 50 ms

Rycina 10. Rozproszenie proszku gaśniczego z dyszą (od góry)
25, 30, 40, 50 ms

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

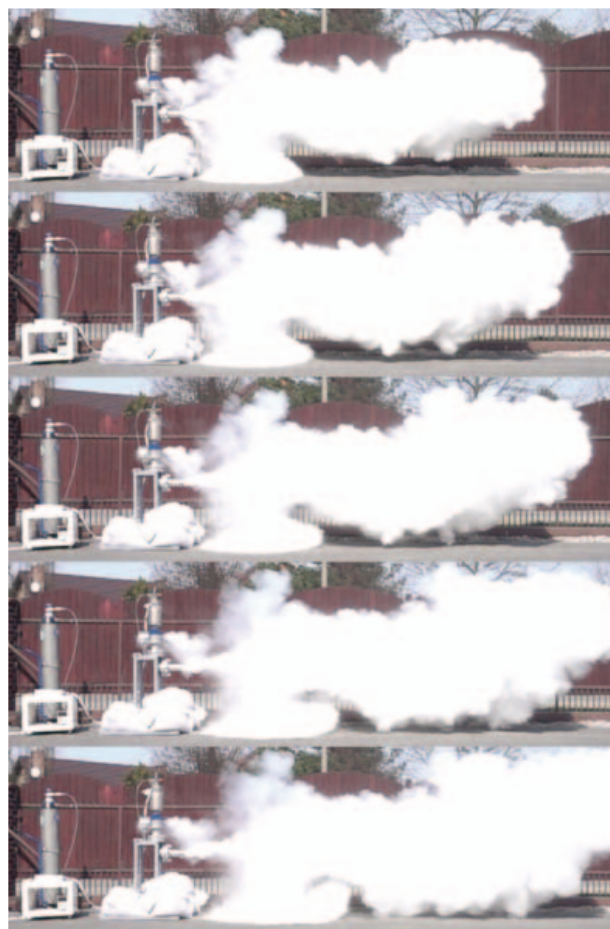


Figure 11. Dispersion of spray powder with nozzle (from above)
60, 70, 80, 90, 100 ms

Rycina 11. Rozproszenie proszku gaśniczego z dyszą (od góry)
60, 70, 80, 90, 100 ms

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Tests of the HRD system using a container with a volume of 1 m³ involved the following activities:

1. Causing the explosion of the dust-air mixture with known $P_{\max}$ and $(dp/dt)_{\max}$ values;
2. Recording the explosion pressure during the operation of the active suppression system.
3. An analysis of the effectiveness of explosion suppression system operation on the basis of a comparison of pressure changes $p(t)$ for the suppressed and non-suppressed explosions.
4. A graphical representation of the pressure changes $p(t)$ for the non-suppressed and suppressed explosions in a single chart.

Before starting to assess the effectiveness of the HRD system, the explosive parameters of two types of dust – lycopodium and potato starch – were determined. The following results were obtained:

Badania systemu HRD z wykorzystaniem zbiornika o objętości 1 m³ zakładały przeprowadzenie następujących działań:

1. Doprowadzenie do wybuchu mieszaniny pyłu i powietrza o znanych wartościach $P_{\max}$ i $(dp/dt)_{\max}$;
2. Rejestracja ciśnienia wybuchu w trakcie działania aktywnego systemu tłumienia;
3. Analiza skuteczności działania aktywnego systemu tłumienia wybuchu na podstawie porównania przebiegów ciśnienia $p(t)$ dla wybuchu nietłumionego i tłumionego;
4. Graficzna prezentacja przebiegów ciśnienia $p(t)$ dla wybuchu nietłumionego i tłumionego na jednym wykresie.

Przed przystąpieniem do oceny skuteczności systemu HRD wyznaczono parametry wybuchowości dla dwóch pyłów: likopodium i skrobi ziemniaczanej. Uzyskano następujące wyniki:

$P_{\text{ex}} = 8,3$ [bar] i $(dp/dt)_{\text{ex}} = 211,6$ [bar/s] – likopodium – 250 [g/m³],
 $P_{\text{ex}} = 7,74$ [bar] i $(dp/dt)_{\text{ex}} = 196,67$ [bar/s] – likopodium – 500 [g/m³],

$P_{ex} = 8.3$ [bar] and $(dp/dt)_{ex} = 211.6$ [bar/s] – lycopodium – 250 [g/m³],

$P_{ex} = 7.74$ [bar] and $(dp/dt)_{ex} = 196.67$ [bar/s] – lycopodium – 500 [g/m³],

$P_{ex} = 5.87$ [bar] and $(dp/dt)_{ex} = 26.73$ [bar/s] – potato starch – 750 [g/m³],

$P_{ex} = 7.4$ [bar] and $(dp/dt)_{ex} = 59.4$ [bar/s] – potato starch – 1500 [g/m³],

Each test was performed using the following conditions:

- extinguishing powder mass in the container – 1 kg,
- inert gas fill pressure – 60 bar,
- ignition delay time – 600 ms,
- explosion pressure activating the HRD system – 0.5 bar¹,
- ignition with an energy of 5 kJ.

Test No. 1. Suppression of the explosion of lycopodium dust at a concentration of 250 g/m³

The test was repeated three times for a given dust concentration. A lycopodium and air mixture at a dust concentration of 250 g/m³ was tested. Such parameters allowed a decrease in pressure from $P_{ex} = 8.3$ bar to $P_{red} = 7.65$ bar. After exceeding the activation pressure of 0.5 bar (after $t \sim 670$ ms), the HRD extinguisher was activated. The extinguishing powder was discharged into the 1 m³ volume of the tank. Over the next 30–40 ms a considerable part of the powder was ejected into the tank, forming a mixture suppressing the explosion. In this stage the dust explosion was progressing very fast. After 30–40 ms the temporary pressure value of 4–4.5 bar and the maximum pressure increase rate (dp/dt) (~ 210 bar/s) were reached. The explosion developed very quickly. Due to the relatively low volume of the tank, it is not possible – with the current configuration – to apply the extinguishing powder sufficiently early to achieve a stronger extinguishing effect. In the chart (fig. 12) the reduced pressure (red line) reaches a high value, close to the maximum explosion pressure (blue line).

Test No. 2. Suppression of the explosion of lycopodium dust at a concentration of 500 g/m³

The test was repeated three times for a given dust concentration. A lycopodium and air mixture at a dust concentration of 500 g/m³ was tested. Such parameters allowed a decrease in pressure from $P_{ex} = 7.74$ bar to $P_{red} = 6.77$ bar. After exceeding the activation pressure of 0.5 bar (after $t \sim 640$ ms), the HRD extinguisher was activated. The extinguishing powder was discharged into the 1 m³ volume of the tank. Over the next 30–40 ms a considerable part of the powder was ejected into the tank, forming a mixture suppressing the explosion. In this stage the dust explosion was progressing very fast. After 30–40 ms the temporary pressure value of 4–4.5 bar and the maximum pressure increase rate (dp/dt) (~ 200 bar/s) were reached. As in the case of the concentration of 250 g/m³, the explosion developed very quickly. Due to the relatively low volume of the container and system activation pressure at 0.5 bar, it is not possible to apply

$P_{ex} = 5.87$ [bar] i $(dp/dt)_{ex} = 26,73$ [bar/s] – skrobia ziemniaczana – 750 [g/m³],

$P_{ex} = 7,4$ [bar] i $(dp/dt)_{ex} = 59,4$ [bar/s] – skrobia ziemniaczana – 1500 [g/m³].

Testy prowadzono każdorazowo przy zastosowaniu niżej wymienionych warunków:

- masa proszku gaśniczego w butli – 1 kg,
- ciśnienie napełnienia gazem inertnym – 60 bar,
- czas opóźnienia zapłonu – 600 ms,
- ciśnienie wybuchu aktywujące system HRD – 0,5 bar¹,
- zapłon o energii 5 kJ.

Test nr 1. Tłumienie wybuchu pyłu likopodium w stężeniu 250 g/m³

Test powtórzono trzykrotnie dla danego stężenia pyłu. Badaniu poddano mieszaninę likopodium z powietrzem – stężenie pyłu 250 g/m³. Takie parametry zapewniły zredukowanie ciśnienia z $P_{ex} = 8,3$ bar do $P_{red} = 7,65$ bar. Po przekroczeniu ciśnienia aktywacji 0,5 bar (po czasie $t \sim 670$ ms) uruchomiona została gaśnica HRD. Nastąpiło wyładowanie proszku gaśniczego do przestrzeni zbiornika 1 m³. W ciągu kolejnych 30–40 ms duża część proszku została wprowadzona do zbiornika i utworzyła mieszaninę gaszącą wybuch. W tej fazie wybuch pyłu rozwijał się bardzo szybko. Po 30–40 ms osiągnięto chwilową wartość ciśnienia 4–4,5 bar, a prędkość wzrostu ciśnienia (dp/dt) wartość maksymalną (~ 210 bar/s). Wybuch rozwinął się bardzo szybko. Z uwagi na stosunkowo niewielką objętość zbiornika brak jest możliwości – przy zastosowanej konfiguracji – na podanie proszku gaśniczego odpowiednio wcześniej, aby efekt gaszenia był silniejszy. Na wykresie (ryc. 12) ciśnienie zredukowane (linia koloru czerwonego) osiąga znaczną wartość, bliską maksymalnemu ciśnieniu wybuchu (linia koloru niebieskiego).

Test nr 2. Tłumienie wybuchu pyłu likopodium w stężeniu 500 g/m³

Test powtórzono trzykrotnie dla danego stężenia pyłu. Badaniu poddano mieszaninę likopodium z powietrzem – stężenie pyłu 500 g/m³. Takie parametry zapewniły zredukowanie ciśnienia z $P_{ex} = 7,74$ bar do $P_{red} = 6,77$ bar. Po przekroczeniu ciśnienia aktywacji 0,5 bar (po czasie $t \sim 640$ ms) uruchomiona została gaśnica HRD. Nastąpiło wyładowanie proszku gaśniczego do przestrzeni zbiornika 1 m³. W ciągu kolejnych 30–40 ms duża część proszku została wprowadzona do zbiornika i utworzyła mieszaninę gaszącą wybuch. W tej fazie wybuch pyłu rozwijał się bardzo szybko. Po 30–40 ms osiągnął chwilową wartość ciśnienia 4–4,5 bar, a prędkość wzrostu ciśnienia (dp/dt) osiągnęła wartość maksymalną (~ 200 bar/s). Podobnie jak w przypadku koncentracji 250 g/m³ wybuch rozwijał się bardzo szybko. Z uwagi na stosunkowo niewielką objętość zbiornika oraz ciśnienie aktywacji systemu ustalone na 0,5 bar, nie pozwalała to na podanie proszku gaśniczego odpowiednio

¹ In an industrial setting activation pressure may be set to 0.1–0.2 bar. The sphere with a volume of 1 m³ necessitated a specific method of conducting work and adopting research assumptions.

¹ W warunkach przemysłowych ciśnienie aktywacji można ustawić na wartość 0,1–0,2 bar. Sfera o objętości 1 m³ narzuciła określony sposób prowadzenia prac oraz przyjętych założeń do badań.

the extinguishing powder sufficiently early to achieve a stronger extinguishing effect. In the chart (fig. 13) the reduced pressure (red line) has a high value, close to the maximum explosion pressure (blue line).

wcześniej, aby efekt gaszenia był silniejszy. Na wykresie (ryc. 13) ciśnienie zredukowane (linia koloru czerwonego) ma dużą wartość, bliską maksymalnemu ciśnieniu wybuchu (linia koloru niebieskiego).

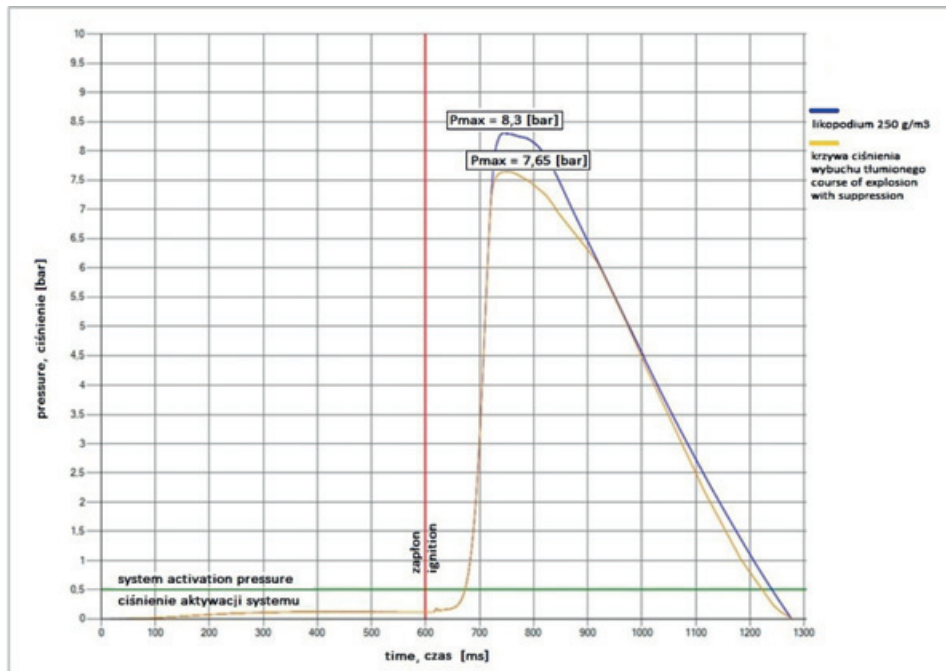


Figure 12. Reduction of explosion pressure at the concentration of combustible dust lycopodium 250 g/m³

Rycina 12. Redukcja ciśnienia wybuchu przy stężeniu pyłu palnego likopodium 250 g/m³

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

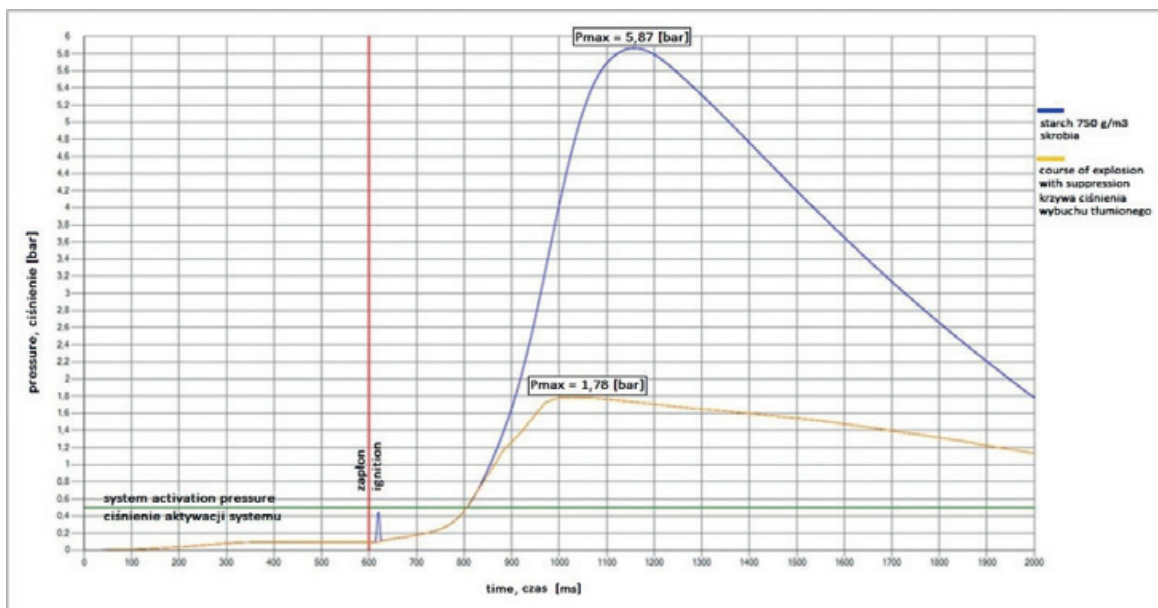


Figure 13. Reduction of explosion pressure at the concentration of combustible dust lycopodium 500 g/m³

Rycina 13. Redukcja ciśnienia wybuchu przy stężeniu pyłu palnego likopodium 500 g/m³

Source: Own elaboration.

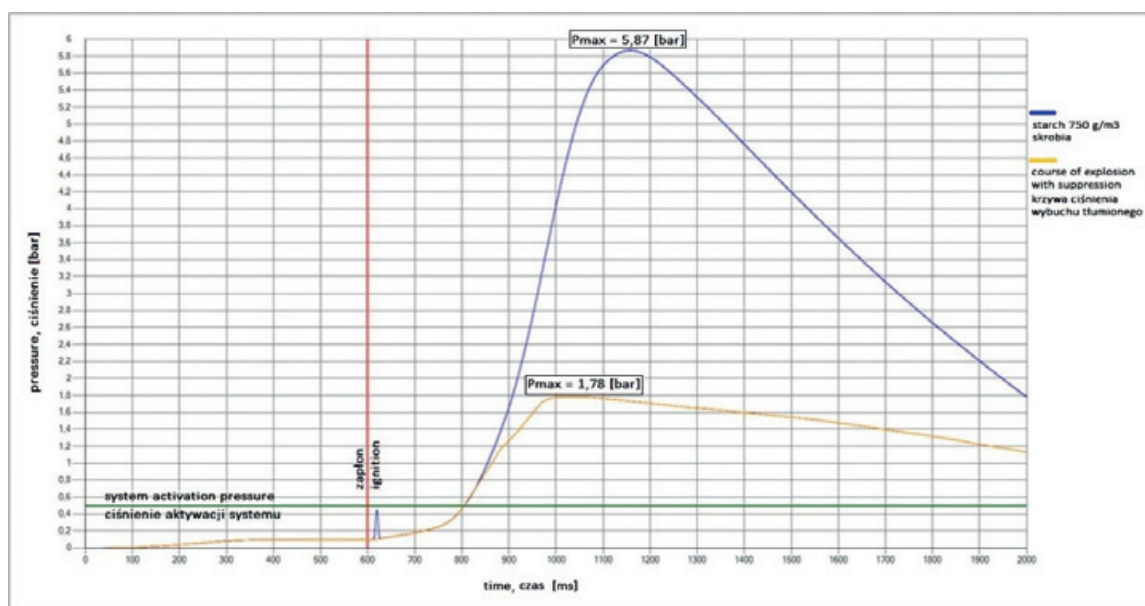
Źródło: Opracowanie własne.

Test No. 3. Suppression of the explosion of starch dust at a concentration of 750 g/m³

The test was repeated three times for a given dust concentration. A starch and air mixture at a dust concentration of 750 g/m³ was tested. Such parameters allowed a decrease in pressure from $P_{ex} = 5.87$ bar to $P_{red} = 1.78$ bar. After exceeding the activation pressure of 0.5 bar (after $t \sim 810$ ms), the HRD extinguisher was activated. The extinguishing powder was discharged into the 1 m³ volume of the tank. Over the next 30–40 ms a considerable part of the powder was ejected into the tank, forming a mixture suppressing the explosion. In this stage the dust explosion was progressing very slowly in comparison to lycopodium. After 30–40 ms the temporary pressure value of 1 bar was reached and the pressure increase rate (dp/dt) did not reach the maximum value (~ 27 bar/s). The explosion was developing at a low rate. The small volume of the tank, combined with the relatively low (in relation to the lycopodium dust explosion) rate of pressure increase (dp/dt) allowed the early application of extinguishing powder. As a result, the extinguishing effect was very strong. As shown in the presented chart (fig. 14), the reduced pressure has a low value (1.78 bar) in comparison to the maximum explosion pressure (5.87 bar).

Test nr 3. Tłumienie wybuchu pyłu skrobi w stężeniu 750 g/m³

Test powtórzono trzykrotnie dla danego stężenia pyłu. Badaniu poddano mieszaninę pyłu skrobi z powietrzem – stężenie pyłu 750 g/m³. Takie parametry zapewniły zredukowanie ciśnienia z $P_{ex} = 5,87$ bar do $P_{red} = 1,78$ bar. Po przekroczeniu ciśnienia aktywacji 0,5 bar (po czasie $t \sim 810$ ms) uruchomiona została gaśnica HRD. Nastąpiło wyładowanie proszku gaśniczego do przestrzeni zbiornika 1 m³. W ciągu kolejnych 30–40 ms duża część proszku została wprowadzona do zbiornika i utworzyła mieszaninę gaszącą wybuch. W tej fazie wybuch pyłu rozwijał się bardzo wolno w porównaniu do likopodium. Po 30–40 ms osiągnął chwilową wartość ciśnienia 1 bar, a prędkość wzrostu ciśnienia (dp/dt) nie osiągnęła jeszcze wartości maksymalnej (~ 27 bar/s). Wybuch rozwijał się z niską prędkością. Niewielka objętość zbiornika w połączeniu ze stosunkowo (w relacji do wybuchu pyłu likopodium) niewielką prędkością narastania ciśnienia (dp/dt) pozwoliły na podanie proszku gaśniczego odpowiednio wcześnie. Dzięki temu efekt gaszenia był bardzo silny. Jak widać na prezentowanym wykresie (ryc. 14) ciśnienie zredukowane osiąga niską wartość (1,78 bar) w porównaniu do maksymalnego ciśnienia wybuchu (5,87 bar).



Rycina 14. Redukcja ciśnienia wybuchu przy stężeniu pyłu palnego skrobi 750 g/m³

Figure 14. Reduction of explosion pressure at the concentration of combustible dust of starch 750 g/m³

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Test No. 4. Suppression of the explosion of starch dust at a concentration of 1500 g/m³

The test was repeated three times for a given dust concentration. A starch and air mixture at a dust concentration of 1500 g/m³ was tested. Such parameters allowed a decrease in pressure from $P_{ex} = 7.4$ bar to $P_{red} = 1.88$ bar. After exceeding the activation pressure of 0.5 bar (after $t \sim 750$ ms), the HRD extinguisher was activated. The extinguishing powder was discharged into the 1 m³

Test nr 4. Tłumienie wybuchu pyłu skrobi w stężeniu 1500 g/m³

Test powtórzono trzykrotnie dla danego stężenia pyłu. Badaniu poddano mieszaninę pyłu skrobi z powietrzem – stężenie pyłu 1500 g/m³. Takie parametry zapewniły zredukowanie ciśnienia z $P_{ex} = 7,4$ bar do $P_{red} = 1,88$ bar. Po przekroczeniu ciśnienia aktywacji 0,5 bar (po czasie $t \sim 750$ ms) uruchomiona została gaśnica HDR. Nastąpiło wyładowanie proszku gaśniczego do przestrzeni zbiornika 1 m³. W ciągu kolejnych 30–40 ms

volume of the tank. Over the next 30–40 ms a considerable part of the powder was ejected into the tank, forming a mixture suppressing the explosion. In this stage the dust explosion was developing at a very low rate in comparison to lycopodium and faster than for the starch concentration of 750 g/m³. After 30–40 ms the temporary pressure value of ~1.2 bar was reached and the pressure increase rate (dp/dt) did not reach the maximum value (~59 bar/s). The explosion developed very slowly. The small volume of the tank, combined with the relatively low (in relation to the lycopodium dust explosion) rate of pressure increase (dp/dt) allowed the early application of extinguishing powder. Due to this the extinguishing effect was very strong. As shown in the presented chart (fig. 15), the reduced pressure has a very low value (1.88 bar) in comparison to the maximum explosion pressure (7.4 bar).

część proszku została wprowadzona do zbiornika i utworzyła mieszaninę gaszącą wybuch. W tej fazie wybuch pyłu rozwijał się bardzo wolno w porównaniu do likopodium i szybciej niż przy koncentracji skrobi 750 g/m³. Po 30–40 ms ciśnienie osiągnęło chwilową wartość ~1,2 bar, a prędkość wzrostu ciśnienia (dp/dt) nie osiągnęła jeszcze wartości maksymalnej (~59 bar/s). Wybuch rozwijał się bardzo wolno. Niewielka objętość zbiornika w połączeniu ze stosunkowo (w relacji do wybuchu pyłu likopodium) niewielką prędkością narastania ciśnienia (dp/dt) pozwoliły na podanie proszku gaśniczego odpowiednio wcześnie. Dzięki temu efekt gaszenia był bardzo silny. Jak widać na prezentowanym wykresie (ryc. 15), ciśnienie zredukowane ma bardzo niską wartość (1,88 bar) w porównaniu do maksymalnego ciśnienia wybuchu (7,4 bar).

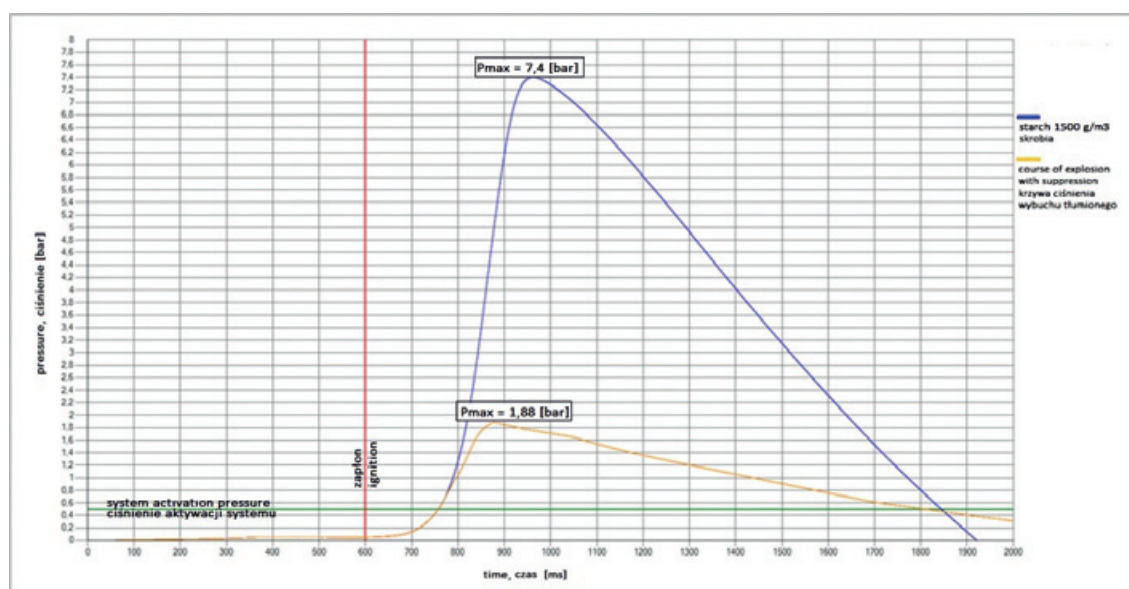


Figure 15. Reduction of explosion pressure at the concentration of combustible dust of starch 1500 g/m³

Rycina 15. Redukcja ciśnienia wybuchu butlą HRD w stężeniu pyłu palnego skrobi 1500 g/m³

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Discussion of methods and results

Taking into account the obtained results with the applied test equipment configuration, it can be concluded that the system becomes fully effective for dust types characterised by low pressure increase values, i.e. mainly St1 class dust for the lower pressure increase range. The share of dust types with such parameters is about 80%. An extreme case is lycopodium dust, which is between St1 and St2 classes, i.e. has a high value of pressure increase in time. For such dust, the assumed configuration of the extinguishing system is not as effective as expected, i.e. it is not possible to obtain a strong reduction of explosion pressure. The low volume of the test equipment and the ignition source used certainly contribute to this result. Due

Dyskusja nad metodami i wynikami

Mając na uwadze uzyskane wyniki przy zastosowanej konfiguracji urządzenia badawczego, można stwierdzić, że system uzyskuje pełną skuteczność dla pyłów charakteryzujących się niską wartością przyrostu ciśnienia, tj. głównie pyłów w klasie St1 dla dolnego zakresu przyrostu ciśnienia. Udział pyłów o takich parametrach wynosi ok. 80%. Skrajnym przykładem pyłu jest likopodium, który praktycznie znajduje się na granicy klas St1 i St2, tj. charakteryzuje się wysoką wartością przyrostu ciśnienia w czasie. Dla takich pyłów zaproponowana konfiguracja systemu gaśniczego nie wykazuje zakładanej skuteczności, tj. nie można uzyskać silnej redukcji ciśnienia wybuchu. Z pewnością na taki wynik ma wpływ niewielka objętość aparatu badawczego oraz

to this, there is very little time to suppress the explosion after it is detected in comparison to dust types with low pressure increase values, despite the very short activation times of the extinguishing system. This can also be explained in another way. For a volume limited to $V_{ogr.} \gg 1 \text{ m}^3$ the same explosion will have a greater distance to cover. This will translate into an increase in system effectiveness, as the larger volume would be made inert with the use of an extinguishing medium. An additional effect that can improve the response of the extinguishing system to explosions of dust types with high pressure increase values, is the possibility of changing the location of explosion detection or even increasing the number of sensors to select the optimum layout.

Summary and conclusions

Explosion suppression using the HRD extinguishing system involves stopping the combustion process inside the protected area. An effective suppression system should interrupt the developing explosion in such a way as to prevent the damage to the protected device caused by an increase in pressure (and also temperature – the secondary effect of the explosion). The suggested tests of HRD system performance involve determining the explosive parameters, i.e. P_{max} and $(dp/dt)_{max}$ of the specific dust and then repeating the test with the use of the extinguishing system.

The conducted tests lead to the conclusion that the presented HRD system is characterised by an appropriate level of fire extinguishing performance for dust types with $K_{st} \leq 100 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$. For potato starch dust, despite the increase in the said value, the system exhibits a constant performance in reducing pressure to the value of $P_{red} < 2 \text{ bar}$, which can be regarded as a highly satisfactory result. It should also be mentioned that the mechanical components used in the system, which were subjected to loads, are characterised by a high mechanical strength. As a result, further studies will not require frequent maintenance work, which is another proof of the high quality of the developed system.

Due to the limited volume of the test chamber (1 m^3), further work on assessing the effectiveness of explosion suppression using an active system will involve:

- performing tests of the extinguishing system using dust with an increasing pressure growth value $(dp/dt)_{max}'$,
- using various locations of the ignition source and changing the ignition source,
- determining extinguishing performance for constant explosive parameters of a given dust type as a function of pressure and extinguishing powder mass,
- actions aimed at reducing the detection threshold by eliminating the effect of a pressure surge generated at the moment of injecting dust to the test chamber.

zastosowane źródło zapłonu. Skutkuje to tym, że od momentu wykrycia wybuchu do jego ugaszenia jest bardzo mało czasu w porównaniu do pyłów o niskich wartościach przyrostu ciśnienia, pomimo bardzo krótkich czasów zadziałania systemu gaśniczego. Można to także wyjaśnić w inny sposób. Mianowicie w przypadku objętości ograniczonej o $V_{ogr.} \gg 1 \text{ m}^3$ taki sam wybuch będzie miał większą drogę do przebycia. Będzie to skutkowało tym, że efektywność systemu zwiększy się, ponieważ większa kubatura zostanie zinertyzowana środkiem gaśniczym. Dodatkowym efektem, który mógłby poprawić reakcję systemu gaśniczego w przypadku wybuchów pyłów o wysokiej wartości przyrostu ciśnienia, jest możliwość zmiany lokalizacji detekcji wybuchu lub wręcz zwiększenia liczby czujników w celu doboru optymalnego układu.

Podsumowanie i wnioski

Tłumienie wybuchu przy pomocy systemu gaśniczego HRD polega na zatrzymaniu procesu spalania w obszarze chronionym. Skuteczny system tłumiący powinien przerwać rozwijający się wybuch tak, aby nie doszło do uszkodzenia zabezpieczanego urządzenia wskutek wzrostu ciśnienia (a także temperatury – oddziaływanie wtórne skutków wybuchu). Zaproponowane badania skuteczności działania systemu HRD polegają na wyznaczeniu parametrów wybuchowości, tj. P_{max} i $(dp/dt)_{max}$ określonego pyłu, a następnie powtórzenia badań z zastosowaniem gaszenia.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że zaprezentowany system HRD charakteryzuje się właściwym poziomem skuteczności gaśniczej w przypadku pyłów o $K_{st} \leq 100 \text{ bar} \cdot \text{m/s}$. Dla pyłu skrobi ziemniaczanej – mimo wzrostu ww. wartości – system wykazuje stałą skuteczność w kwestii redukcji ciśnienia do wartości $P_{red} < 2 \text{ bar}$, co można uznać za bardzo zadowalający efekt. Należy także wspomnieć, że układy mechaniczne zastosowane w systemie, które zostały poddane obciążeniom, charakteryzują się dużą wytrzymałością mechaniczną na uszkodzenia. Dzięki temu dalsze badania nie będą wymagać częstych prac konserwacyjnych, co również przekłada się na wysoką jakość opracowanego systemu.

Z uwagi na ograniczoną objętość zastosowanej komory badawczej (1 m^3) dalsze prace nad oceną skuteczności tłumienia wybuchów przy pomocy systemu aktywnego będą ukierunkowane na:

- testy systemu gaśniczego z zastosowaniem pyłów o wzrastającej wartości przyrostu ciśnienia $(dp/dt)_{max}'$,
- zastosowanie różnego położenia źródła zapłonu oraz wraz ze zmianą źródła zapłonu,
- oznaczenie skuteczności gaśniczej dla stałych parametrów wybuchowych określonego pyłu w funkcji ciśnienia oraz masy proszku gaśniczego,
- działania zmierzające do obniżenia progu zadziałania progu detekcji poprzez wyeliminowanie wpływu skoku ciśnienia tworzącego się w momencie wtrysku pyłu do komory badawczej.

Literature / Literatura

- [1] Moore P.E., *Suppressants for the control of industrial explosions*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 1996, 9, 1, 119–123, [https://doi.org/10.1016/0950-4230\(95\)00045-3](https://doi.org/10.1016/0950-4230(95)00045-3).
- [2] Taveau J., Vingerhoets J., *Suppression of metal dust deflagrations*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2015, 36, 244–251, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2015.02.011>.
- [3] Sun Y., Yuan B., Chen X., Li K., Wang L., Yun Y., Fan A., *Suppression of methane/air explosion by kaolinite-based multi-component inhibitor*, "Powder Technology" 2019, 343, 279–286, <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2018.11.026>.
- [4] Song Y., Zhang Q., *Quantitative research on gas explosion inhibition by water mist*, "Journal of Hazardous" 2019, 363, 16–25, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.09.059>.
- [5] Oleszczak P., Klemens R., *Mathematical modelling of dust–air mixture explosion suppression*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2006, 19(2–3), 187–193, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2005.05.013>.
- [6] Wang B., Rao Z., Xie Q., Wolański P., Rarata G., *Brief review on passive and active methods for explosion and detonation suppression in tubes and galleries*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2017, 49, Part B, 280–290, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2017.07.008>.
- [7] Klemens R., Szatan B., Gieras M., Wolański P., Maranda P., *Suppression of dust explosions by means of different explosive charges*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2000, 13, 265–275, [https://doi.org/10.1016/S0950-4230\(99\)00050-9](https://doi.org/10.1016/S0950-4230(99)00050-9).
- [8] Klemens R., Gieras M., Kalużny M., *Dynamics of dust explosions suppression by means of extinguishing powder in various industrial conditions*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2007, 20, 664–674, <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2007.04.021>.
- [9] Gieras M., Klemens R., *Effectiveness of an active dust and gas explosion suppression system*, "Journal of Power Technologies" 2012, 92 (1), 1–11.
- [10] Barton J., *Dust explosion prevention and protection: A practical guide*, Gulf Professional Publishing 2002, <https://doi.org/10.1021/op020041a>.
- [11] Eckhoff R. K., *Dust explosions in the process industries*, Elsevier Science, 2003.
- [12] Bartknecht W., *Explosions, Course, prevention, protection*, Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1981.
- [13] Bartknecht W., *Dust explosions, Course, prevention, protection*, Springer Verlag, Berlin – Heidelberg – New York 1989.
- [14] Cross J., Farrer D., *Dust explosions*, Plenum Press, New York 1982, https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6869-8_7.
- [15] Eckhoff K., *Dust explosions in the process industries*, 3-th edition, Elsevier Science, 2003, <https://doi.org/10.1016/B978-075067602-1/50003-2>.
- [16] Abbasi A., *Dust Explosions-Cases, causes, consequences and control*, Center for Pollution Control and Energy Technology, Pondicherry University, Pondicherry 605014, India, 2006.
- [17] Siwek R., *2nd WORLD SEMINAR on the Explosion Phenomenon and on the Application of Explosion Protection Techniques in Practice*, European Institute for Explosion Safety and Related Risks, 1996.
- [18] PN-EN 14034-1+A1:2011 – Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu. Część 1: Oznaczanie maksymalnego ciśnienia wybuchu P_{max} obłoków pyłu.
- [19] PN-EN 14034-2+A1:2011 – Oznaczanie maksymalnej szybkości narastania ciśnienia wybuchu $(dp/dt)_{max}$ obłoków pyłu.
- [20] PN-EN 14373:2006 – Systemy tłumienia wybuchu.

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

DAMIAN BĄK, ENG. – In 2013 he graduated from the Faculty of Production Engineering of the Warsaw University of Technology in the field of Mechanics and Machine Design. He is currently finishing his MSc studies in the field of Management and Globalised Production Engineering at the same university. He is currently a specialist at the Laboratory of Combustion Processes and Explosions at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów.

BRIG. DANIEL MAŁOZIĘĆ, M.SC. ENG. – He graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw. He is currently the Head of the Laboratory of Combustion Processes and Explosions at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów. Specialisation – combustion processes.

MARCIN GRABARCZYK, PH.D. ENG. – A graduate of the Faculty of Power and Aeronautical Engineering at the Warsaw University of Technology, former employee of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute and the Institute of Aviation. He is currently in charge of patent procedures, commercialisation, product development in cybersecurity, and R&D project management at NASK- National Research Institute.

ANDRZEJ KOŁACZKOWSKI, M.SC. ENG. – A graduate of the Warsaw University of Technology with over 30 years' professional experience. Director and head of the design team at ANKO, a company specialising in the construction of highly advanced measurement devices and test stations. Expert and advisor for international research and certification bodies, including TUV SUD. Author of multiple patents and over 100 designs of devices deployed to production.

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

INŻ. DAMIAN BĄK – W 2013 r. ukończył studia na Wydziale Inżynierii Produkcji Politechniki Warszawskiej, kierunek Mechanika i Budowa Maszyn, obecnie kończy studia magisterskie na kierunku Zarządzanie i Inżynieria Produkcji Zglobalizowanej tej samej uczelni. Pracuje na stanowisku specjalisty w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziowej – PIB w Józefowie.

BRYG. MGR INŻ. DANIEL MAŁOZIĘĆ – Absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Obecnie kierownik Zespołu Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodziowej PIB w Józefowie. Specjalność – procesy spalania.

DR INŻ. MARCIN GRABARCZYK – Absolwent Wydziału Mechanicznego Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, były pracownik CNBOP-PIB oraz Instytutu Lotnictwa. Obecnie w NASK-PIB zajmuje się procesami patentowymi, komercjalizacją oraz rozwojem produktów z zakresu cyberbezpieczeństwa, a także zarządzaniem projektami typu B+R.

MGR INŻ. ANDRZEJ KOŁACZKOWSKI – Absolwent Politechniki Warszawskiej z ponad 30 letnim doświadczeniem zawodowym. Dyrektor i szef zespołu projektantów firmy ANKO specjalizującej się w budowie zaawansowanych urządzeń pomiarowych i stanowisk badawczych. Ekspert i konsultant międzynarodowych instytucji badawczych i certyfikacyjnych w tym TUV SUD. Autor patentów i ponad 100 projektów wdrożonych do produkcji urządzeń.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Stworzenie angielskich wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BITP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – zadanie finansowane w ramach umowy 658/P-DUN/2018 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

jednostka notyfikowana
Komisji Europejskiej
w zakresie rozstrządzania
305/2011 (CPR)

laboratoria badawcze
akredytowane
przez Polskie Centrum
Akredytacji

jednostka upoważniona do
wydawania europejskich
i krajowych ocen
technicznych

ponad **45** lat doświadczenia

Działamy na rzecz zapewnienia bezpieczeństwa powszechnego państwa w zakresie ochrony przeciwpożarowej, zarządzania kryzysowego, ochrony ludności i obrony cywilnej.

Oferta usług

- dopuszczenie wyrobów użytkowanych w ochronie przeciwpożarowej
- certyfikacja europejska i krajowa wyrobów budowlanych
- certyfikacja dobrowolna wyrobów do ochrony przeciwpożarowej
- certyfikacja podmiotów świadczących usługi w ochronie przeciwpożarowej
- europejskie i krajowe oceny techniczne
- opinie i ekspertyzy techniczne
- testowanie wyrobów innowacyjnych
- badania:
 - sprzętu oraz wyposażenia jednostek ochrony ppoż.
 - stałych urządzeń gaśniczych
 - chemiczne i pożarowe
 - procesów spalania i wybuchowości
 - systemów i automatyki przeciwpożarowej
- szkolenia z zakresu ochrony przeciwpożarowej

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

Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów | tel. +48 22 769 32 73 | cnbop@cnbop.pl | www.cnbop.pl

Sylwester M. Grajewski, Ph.D.^{a)*}; prof. Andrzej Czerniak D.Sc.^{a)}; Paweł Szóstakowski^{a)}

^{a)} Poznań University of Life Sciences / Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: sylgraj@up.poznan.pl

Features and Performance of Forest Fire Access Roads and Fire Department Connections as Assessed by Employees of the Polish State Fire Service

Funkcjonalność leśnych dojazdów pożarowych i punktów czerpania wody w ocenie pracowników Państwowej Straży Pożarnej

ABSTRACT

Goal: The main goal of this article was the evaluation of the applicable legal regulations in the field of fire access roads and fire department connections in forests. It was carried out by employees of municipal and district State Fire Service (PSP) departments. An additional goal was to explore the relationship between the characteristics of forest areas and the responses given by respondents to the questions in the questionnaire.

Introduction: It has been 20 years since the introduction of the obligation to establish fire access roads in forest areas. Fire access roads are an extremely important element of the fire protection infrastructure in forest complexes, providing the basis for planning and organising rescue and firefighting operations. Fire access roads also function as the backbone of the transport network necessary to carry out all management tasks in any forest complex. Requirements for the specifications of fire access roads are provided in general laws and, in the case of State Forests, in industry regulations. Now that twenty years that have passed since the first set of requirements for forest fire protection systems was formulated for all forests regardless of their ownership form, it seems reasonable to try to reassess their relevance.

Methods: The authors analysed the data collected during a survey of employees of municipal and district State Fire Service departments from all across Poland. The survey questionnaire consisted of 10 main questions – mostly multiple-choice, with the option of adding comments. The information obtained from the surveys served as the basis for creating a database in which the responses from individual departments were grouped by province on the basis of five criteria: terrain, location on the east-west axis, forest cover, average number of fires between 2013 and 2017, and the share of private forests. The significance of the correlation between these variables was tested using the chi-square test of independence, and the correlations were checked using the Spearman's rank correlation coefficient.

Results: In the opinion of the respondents, the applicable laws in the area of forest fire protection were in most cases sufficient for the purposes of preventive operations, active protection, and rescue operations. Survey results indicate that the expected changes in regulations are related primarily to the bearing capacity of fire access road surfaces and methods of arranging fire department connections. In addition, respondents emphasised the problem of the distance between fire access roads. Respondents did not show so much agreement on the other investigated issues. But the majority of them confirmed that the applicable regulations were reasonable and needed to be strictly enforced.

Conclusions: The applicable requirements contained in the provisions of commonly applicable law and industry guidelines regarding fire access roads and fire department connections in forest areas, in the opinion of employees of municipal and district State Fire Service departments, were generally appropriate to support fast, efficient and safe firefighting operations in forest areas. The most serious doubts among respondents as to the relevance of the existing solutions pertained to the bearing capacity of fire access road surfaces and the arrangement of fire department connections. Opinions about forest fire protection elements in Poland, as formed by PSP employees, are, to a limited extent, affected by such features of their work environment as geographical location, terrain, forest cover, and ownership structure of forests.

Keywords: forest fire protection, forest road infrastructure, State Fire Service

Type of article: original scientific article

Received: 12.08.2019; Reviewed: 30.08.2019; Accepted: 02.09.2019;

Authors' ORCID IDs: S.M. Grajewski – 0000-0002-3425-1460; A. Czerniak – 0000-0001-9963-1176; P. Szóstakowski – 0000-0002-3437-9309;

Percentage contribution: S.M. Grajewski – 40%; A. Czerniak – 40%; P. Szóstakowski – 20%;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 68–87, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.4>;

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

ABSTRAKT

Cel: Zasadniczym celem artykułu była ewaluacja obecnie obowiązujących regulacji prawnych w zakresie dojazdów pożarowych i punktów czerpania wody w lasach przeprowadzona przez pracowników miejskich i powiatowych komend Państwowej Straży Pożarnej. Celem dodatkowym było zweryfikowanie zależności pomiędzy cechami obszarów leśnych a formułowanymi przez respondentów odpowiedziami na postawione w kwestionariuszu ankiety pytania.

Wprowadzenie: Od wprowadzenia obowiązku wyznaczania dojazdów pożarowych na terenach leśnych mija 20 lat. Dojazdy pożarowe stanowią niezwykle ważny element infrastruktury przeciwpożarowej kompleksów leśnych, dając podstawę planowania i organizowania akcji ratowniczo-gaśniczych w lasach. Dojazdy pożarowe pełnią również funkcję szkieletu sieci komunikacyjnej niezbędnego do realizacji wszystkich zadań gospodarczych w danym kompleksie leśnym. Wymagania odnośnie parametrów dojazdów pożarowych znajdują się w aktach prawa powszechnego jak również, w przypadku Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe, w regulacjach branżowych. Dwadzieścia lat, jakie upłynęło od sformułowania pierwszego zbioru wymagań stawianych elementom zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów niezależnie od formy ich własności, wydaje się być dobrą okazją do podjęcia próby oceny ich aktualności.

Metody: Analizie poddano dane zebrane podczas ankietowania pracowników miejskich i powiatowych komend Państwowej Straży Pożarnej z terenu całego kraju. Kwestionariusz ankiety składał się z 10 głównych pytań – w większości o charakterze zamkniętym z możliwością dodawania własnych komentarzy. Informacje pozyskane z ankiet posłużyły za podstawę utworzenia bazy danych, w której odpowiedzi z poszczególnych komend pogrupowano wg województw z uwzględnieniem pięciu kryteriów: ukształtowania terenu, położenia w osi wschód-zachód, lesistości, średniej liczby pożarów w pentadzie lat 2013–2017 oraz udziału lasów prywatnych. Istotność korelacji pomiędzy zmiennymi badano za pomocą testu niezależności chi-kwadrat, a współzależności sprawdzono z użyciem współczynnika korelacji rang Spearmana.

Wyniki: W ocenie respondentów obecnie obowiązujące przepisy z obszaru zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów w większości są wystarczające do prowadzenia działań profilaktycznych, pełnienia czynnej ochrony oraz przeprowadzania akcji ratunkowych. Wyniki badań wskazują, że oceniwanie zmian w regulacjach dotyczą przede wszystkim nośności nawierzchni dojazdów pożarowych i metod organizowania punktów czerpania wody. Ponadto uwypuklono problem odległości między dojazdami pożarowymi. W pozostałych, będących przedmiotem badań kwestiach, ankietowani nie są już tak zgodni, przy czym większość potwierdza słuszność obowiązujących przepisów i konieczność bezwzględnego egzekwowania ich przestrzegania.

Wnioski: Obecnie obowiązujące wymagania zawarte w przepisach prawa powszechnego i wytycznych branżowych, dotyczące dojazdów pożarowych i punktów czerpania wody na terenach leśnych, w ocenie pracowników miejskich i powiatowych komend Państwowej Straży Pożarnej w dużej mierze są właściwe dla szybkiego, sprawnego i bezpiecznego prowadzenia akcji gaśniczych na terenach leśnych. Największe wątpliwości wśród respondentów, co do słuszności obowiązujących rozwiązań, wzbudza nośność nawierzchni dojazdów pożarowych oraz organizacja punktów czerpania wody. Na formułowane przez pracowników PSP oceny elementów zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów w Polsce w ograniczonym zakresie wpływ mają takie cechy środowiska ich pracy jak położenie geograficzne, ukształtowanie terenu, lesistość i struktura własnościowa lasów.

Słowa kluczowe: zabezpieczenie przeciwpożarowe lasów, leśna infrastruktura drogowa, Państwowa Straż Pożarna

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 12.08.2019; **Zrecenzowany:** 30.08.2019; **Zatwierdzony:** 02.09.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: S.M. Grajewski – 0000-0002-3425-1460; A. Czerniak – 0000-0001-9963-1176; P. Szóstakowski – 0000-0002-3437-9309;

Procentowy wkład merytoryczny: S.M. Grajewski – 0000-0002-3425-1460; A. Czerniak – 0000-0001-9963-1176; P. Szóstakowski – 0000-0002-3437-9309;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 68–87, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.4>;

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

INTRODUCTION

The requirement to establish fire access roads in forest areas was first imposed on the owners and administrators of all forests by the Regulation of the Minister of Environmental Protection, Natural Resources and Forestry of 16 August 1999 on the detailed principles of forest fire protection (Journal of Laws of 1999, No. 73, item 824) [1].

Fire access roads on forest land are equivalent to fire roads in urban areas [2] and constitute an extremely important element of the fire infrastructure of forest complexes, providing the basis for planning and organising rescue and firefighting operations. They also serve as the backbone of the transport network necessary for all management tasks in any forest complex [3].

The Department of Forest Engineering at the University of Life Sciences in Poznań carries out detailed forest road infrastructure research. Its projects, carried out for many years, study technical solutions, environmental aspects, and spatial planning and optimisation of the density of the forest road network.

Wstęp

Po raz pierwszy wymóg wyznaczania dojazdów pożarowych na terenach leśnych na właścicieli i administratorów wszystkich lasów nałożyło Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów (Dz. U. z 1999 r., nr 73, poz. 824) [1].

Dojazdy pożarowe na gruntach leśnych są odpowiednikiem dróg pożarowych na terenach zurbanizowanych [2] i stanowią niezwykle ważny element infrastruktury przeciwpożarowej kompleksów leśnych, dając podstawę do planowania i organizowania akcji ratowniczo-gaśniczych. Pełnią one również funkcję zasadniczego szkieletu sieci komunikacyjnej niezbędnego do realizacji wszystkich zadań gospodarczych w danym kompleksie leśnym [3].

Szczegółowe badania z zakresu drogownictwa leśnego prowadzone są w Katedrze Inżynierii Leśnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu. Realizowane od wielu lat prace dotyczą roz-

Currently, the primary legal act formulating the requirements for forest roads serving as fire access roads is the Regulation of the Minister of the Environment of 22 March 2006 on the detailed principles of forest fire protection (Journal of Laws of 2006, No. 58, item 405) [4], as amended [5, 6, 7]. That document specifies that the distance between any point located in the forest and the nearest public road (except for motorways and expressways) or a forest road considered to be a fire access road should not exceed 750 m in forests classified as fire hazard category I, or 1,500 m in forests classified as fire hazard category II or III (fig. 1). In addition, forest roads used as fire access roads should be marked and maintained in a way that ensures passage, and new or redeveloped ones should have the following specifications [4]:

- dirt or paved surface with a bearing capacity of at least 100 kN and an axle load of 50 kN,
- external radii of curvatures at least 11 m long,
- distance between the tree crowns of at least 6 m up to a height of 4 m from the road surface,
- at least 3 m wide carriageway,
- in the case of dead-end roads, a manoeuvring area of at least 20 × 20 m,
- in the case of single-lane roads, passing points at least 3 m wide and 23 m long, located at a distance of no more than 300 m from one another to ensure mutual visibility.

Regulations regarding the specifications of fire access roads in the forests under the management of the State Forests (PGL LP) can also be found in the Forest Fire Prevention Manual [8], which – in addition to citing the requirements of the Regulation ... [4] – provides detailed descriptions of the features of such roads. In addition, the Manual states that “the essential technical and functional requirements for forest roads constituting fire access roads should be compatible with the requirements for class L (local) or class A (access) roads, as defined in the secondary legislation to the Construction Law of 7 July 1994 (Journal of Laws of 1994, No. 89, item 414, as amended) [8, 9].

Issues related to the development of the fire access road network are also discussed in another industry study entitled *Guidelines for conducting road works in forests*, [10] and in a slightly older publication entitled *Forest roads – A technical guide* [11]. The Guidelines state that, in order to protect forests areas against fire, fire access roads, as an important element of the forest transport network, should support:

- fast access of rescue units and necessary equipment to forest areas covered by fire,
- delivery of equipment and extinguishing agents from equipment bases to the location of fire,
- operation of firefighting equipment, especially fire trucks during a rescue operation,
- efficient access to fire department connections existing near natural and artificial reservoirs.

The organisational and technical firefighting resources of PGL LP units include, in addition to fire access roads, the water supply of forest complexes, defined as natural and artificial water resources adapted to be used by fire-fighting equipment [8]. Pursuant to the Regulation of the Minister of the Interior and

wiązań technicznych, aspektów ekologicznych oraz planowania przestrzennego i optymalizacji gęstości leśnej sieci drogowej.

Współcześnie podstawowym aktem prawnym formującym wymagania względem dróg leśnych pełniących funkcję dojazdów pożarowych jest Rozporządzenie Ministra Środowiska z 22 marca 2006 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów (Dz. U. z 2006 r., nr 58, poz. 405) [4], w którym wprowadzono zmiany [5, 6, 7]. W omawianym dokumencie określono, że odległość pomiędzy dowolnym punktem położonym w lesie a najbliższą drogą publiczną (z wyłączeniem autostrad i dróg ekspresowych) lub drogą leśną uznaną za dojazd pożarowy nie powinna przekraczać 750 m w lasach zaliczonych do I kategorii zagrożenia pożarowego oraz 1500 m w lasach zaliczonych do II lub III kategorii zagrożenia pożarowego (ryc. 1). Ponadto drogi leśne, wykorzystywane jako dojazdy pożarowe, powinny być oznakowane i utrzymane w sposób zapewniający ich przejezdność, a budowane lub przebudowywane powinny mieć następujące parametry [4]:

- nawierzchnię gruntową lub utwardzoną o nośności co najmniej 100 kN i nacisku na oś 50 kN,
- promienie zewnętrzne łuków o długości co najmniej 11 m,
- odstęp pomiędzy koronami drzew o szerokości co najmniej 6 m zachowany do wysokości 4 m od nawierzchni jezdni,
- jezdnię o szerokości co najmniej 3 m,
- w przypadku drogi bez przejazdu plac manewrowy o wymiarach co najmniej 20×20 m,
- w przypadku dróg jednopasmowych mijanki o szerokości co najmniej 3 m i długości 23 m, położone w odległości nie większej niż 300 m od siebie z zapewnieniem z nich wzajemnej widoczności.

Regulacje dotyczące parametrów dojazdów pożarowych w lasach Państwowego Gospodarstwa Leśnego Lasy Państwowe (PGL LP) znaleźć można również w *Instrukcji ochrony przeciwpożarowej lasu* [8], która – oprócz przywołania wymagań z *Rozporządzenia...* [4] – uszczegóławia cechy tego typu dróg. Dodatkowo wskazuje, że „zasadnicze wymagania techniczne i użytkowe dla dróg leśnych stanowiących dojazdy pożarowe winny być kompatybilne z wymaganiami dla dróg klasy L (lokalne) lub klasy D (dojazdowe) w rozumieniu przepisów wykonawczych do *Ustawy z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane*” (Dz. U. z 1994 r., nr 89, poz. 414, z późn. zm.) [8, 9].

Zagadnienia dotyczące kształtowania sieci dojazdów pożarowych omówiono także w innym branżowym opracowaniu pt. *Wytyczne prowadzenia robót drogowych w lasach* [10] i nieco starszej publikacji pt. *Drogi leśne – poradnik techniczny* [11]. W *Wytycznych...* uwagę zwrócono m.in. na to, iż dojazdy pożarowe, stanowiąc istotny element leśnej sieci komunikacyjnej, w celu ochrony przeciwpożarowej terenów leśnych powinny zapewniać:

- szybki dojazd jednostek ratowniczych i potrzebnego sprzętu do terenów leśnych objętych pożarem,
- dowóz sprzętu i środków gaśniczych z baz sprzętu do miejsca pożaru,
- operatywne działanie sprzętu pożarniczego, zwłaszcza samochodów pożarniczych w trakcie akcji ratowniczej,
- sprawny dojazd do punktów czerpania wody istniejących przy naturalnych i sztucznych zbiornikach.

Administration of 7 June 2010 on the fire protection of buildings, other building structures and areas (Journal of Laws of 2010, No. 109, item 719, as amended) [12], the requirement to provide and maintain water sources for firefighting purposes applies to independent and common forest complexes with an area of over 300 ha. Fire department connections should be marked with signs in accordance with Polish Standards regarding safety signs [13, 14].

W grupie środków organizacyjno-technicznych przygotowania jednostek PGL LP do gaszenia pożarów lasów, obok m.in. dojazdów pożarowych, wymienia się zaopatrzenie wodne kompleksu leśnego, definiowane jako naturalne i sztucznie przygotowane zasoby wody przystosowane do poboru sprzętem gaśniczym [8]. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2010 r., nr 109, poz. 719, z późn. zm.) [12] zapewnienie i utrzymywanie źródeł wody do celów przeciwpożarowych dotyczy samoistnych lub wspólnych kompleksów leśnych o powierzchni powyżej 300 ha. Stanowiska czerpania wody należy oznaczać znakami zgodnymi z Polskimi Normami dotyczącymi znaków bezpieczeństwa [13, 14].

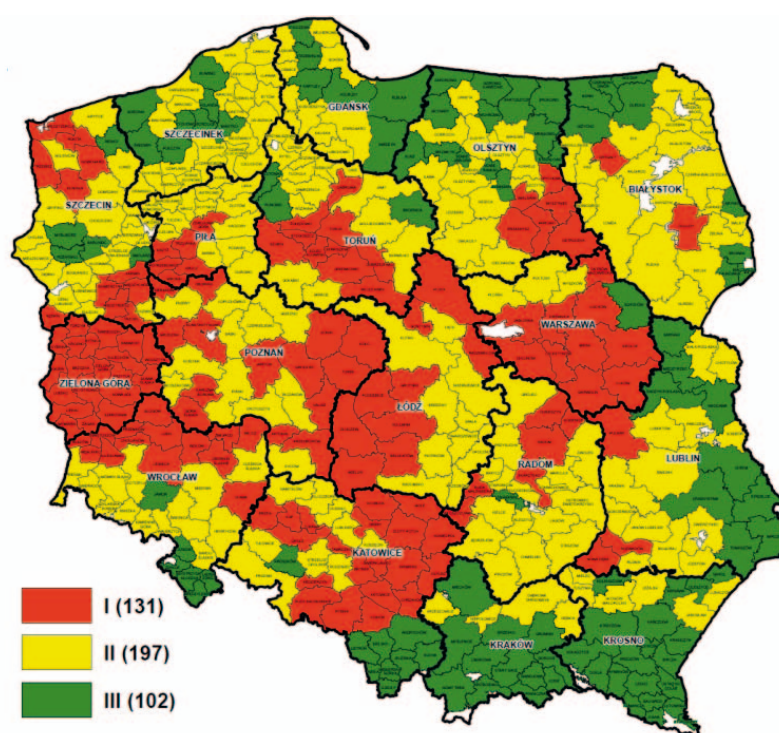


Figure. 1. The result of the assessment of the potential threat of forest fires – forest inspectorates by category of forest fire risk – as of 31 December 2018

Rycina 1. Wynik oceny potencjalnego zagrożenia lasów pożarami – nadleśnictwa wg kategorii zagrożenia pożarowego lasu – stan na 31 grudnia 2018 r.

Source: Information from the Forest Protection Department of the Directorate General of State Forests in Warsaw dated 10 May 2019 [15].

Źródło: Informacja z Wydziału Ochrony Lasu Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w Warszawie z 10 maja 2019 r. [15].

Each forest inspectorate is obliged to provide the required number of water intakes for fire-fighting purposes, adapted for the intake of water with firefighting equipment. Fire department connections for fire-fighting purposes in forests may take the form of artificial reservoirs (consisting of a maximum of two containers with a total of at least 50 m³ of water), external hydrants or watercourses with a constant water flow of at least 10 dm³·s⁻¹ at the lowest water level, with the nearest fire department connection within a distance of up to 3 km in forests of fire risk category I, 5 km in forests of fire risk category II, or as agreed

Każde nadleśnictwo zobowiązane jest do zapewnienia wymaganej przepisami liczby ujęć wody do celów gaśniczych, przystosowanych do poboru wody sprzętem będącym w posiadaniu straży pożarnej. Punkty poboru wody do celów przeciwpożarowych w lasach mogą mieć postać sztucznego zbiornika (składającego się maksymalnie z dwóch pojemników zawierających łącznie co najmniej 50 m³ wody), hydrantów zewnętrznych lub cieku wodnego o stałym przepływie wody nie mniejszym niż 10 dm³·s⁻¹ przy najniższym stanie wód z zapewnieniem najbliższego stanowiska czerpania wody w terenie o promieniu nieprzekraczającym

with the relevant district (municipal) fire chief of the State Fire Service in forests of fire hazard category III [12].

The arrangement of fire department connections also relies on the provisions of the *Regulation ...* [12], Polish standards [16, 17] and *Forest Fire Prevention Manual* [8].

A fire department connection for forest fire protection consists of [8]:

- a water source,
- a water station, e.g. for setting up a motor pump,
- an access road from the nearest public road or fire access road.

Adaptation of water resources for fire-fighting purposes consists of [8]:

- preparation of access roads to the place of water intake, leading from public roads or fire access roads,
- constructing of intake wells or other devices at fire department connections to enable water intake with any fire-fighting equipment, e.g. stairs/ladders to the water level,
- securing intake areas against pollution and silting,
- in the case of dead-end roads – preparation of manoeuvring yards with minimum dimensions of 20 × 20 m, a loop detour or some other solution to support the simultaneous manoeuvring and refuelling of 3 vehicles,
- ensuring the possibility of taking water from a depth of no more than 4 meters from the pump axis,
- building appropriate damming devices on watercourses, streams, ditches or drainage ditches.

It is very important for the supply of water in the tank / watercourse / hydrant / deep well to be ensured throughout the entire fire hazard season, i.e. from 1 March to 31 October, and in the event of a high risk of fire, even throughout the year. Any temporary shutdown of water intakes has to be authorised by the district / municipal fire chief of the State Fire Service. This results in the need to maintain accessibility of access roads to water intakes, which, similarly to fire access roads, should be marked – marking of starting points is mandatory, while that of further sections is done on an as-needed basis.

It has been argued that the above-mentioned commonly applicable laws are, unfortunately, too general [4, 6] – requiring reference to standards intended for use in construction [16, 17], applying only to PGL LP units [8, 10, 11], or still not specific enough in terms of important specifications, e.g. for fire department connections [8, 10, 11]. It has also been noted that even the strict compliance of all fire department connections in forest areas with the existing guidelines would not be able to satisfy the demand for extinguishing agents in the event of very large fires [18].

Nowadays, rescue teams have access to better and better equipment, which means that the number of rescuers plays a much smaller role than the vehicles or rescue equipment at their disposal [19]. The parameters of the fire access network, access roads, fire department connections and places intended for turning and manoeuvring during firefighting operations (unpaved roads, areas next to fire department connections) must be compatible with the changing requirements of fire fighting vehicles, as well as policies and technologies related to forest

3 km w lasach I kategorii zagrożenia pożarowego, 5 km w lasach II kategorii zagrożenia pożarowego i uzgodnionym z właściwym miejscowo komendantem powiatowym (miejskim) PSP w lasach III kategorii zagrożenia pożarowego [12].

Do organizacji punktów czerpania wody wykorzystuje się również regulacje zawarte w *Rozporządzeniu...* [12], polskich normach [16, 17] czy też *Instrukcji ochrony przeciwpożarowej lasu* [8].

Punkt czerpania wody do ochrony przeciwpożarowej lasu składa się z [8]:

- miejsca poboru wody,
- stanowiska wodnego, np. do ustawienia agregatu pompowego,
- drogi dojazdowej od najbliższej drogi publicznej lub dojazdu pożarowego.

Przystosowanie do celów przeciwpożarowych zasobów wodnych polega na [8]:

- przygotowaniu dróg dojazdowych do miejsca ujęć wody, prowadzących od dróg publicznych lub dojazdów pożarowych,
- zbudowaniu w miejscach ujęć studzienek czerpalnych lub innych urządzeń umożliwiających pobór wody każdym sprzętem pożarniczym, np. schodkowych zejść do lustra wody,
- zabezpieczeniu miejsc ujęć przed zanieczyszczeniem i zamuleniem,
- w wypadku drogi bez przejazdu – przygotowaniu w miejscach ujęć placów manewrowych o wymiarach minimum 20 × 20 m, objazdu pętlicowego lub innego rozwiązania umożliwiającego równoczesne manewrowanie i tankowanie 3 pojazdom,
- zapewnieniu możliwości pobierania wody z głębokości nie większej niż 4 metry, licząc od osi pompy,
- zbudowaniu odpowiednich urządzeń piętrzących na ciełach, strumieniach, rowach czy kanałach melioracyjnych.

Bardzo istotne jest to, że zapas wody gaśniczej w zbiorniku/cieku/hydrancie/studni głębinowej winien być zapewniony w całym okresie zagrożenia pożarowego, tj. od 1 marca do 31 października, a w wypadku dużego ryzyka powstania pożaru nawet przez cały rok. Możliwość okresowego wyłączenia ujęć wody z eksploatacji wymaga uzgodnienia z komendantem powiatowym/miejskim PSP. Skutkuje to potrzebą utrzymywania przejezdności dróg dojazdowych do ujęć wody, które należy podobnie jak dojazdy pożarowe, oznakować – początki obowiązkowo, a dalszy ich przebieg według potrzeb.

Wskazuje się, że wyżej cytowane regulacje prawa powszechnego niestety mają charakter nazbyt ogólny [4, 6] – wymagają powoływania się na normy przewidziane do stosowania w budownictwie [16, 17], dotyczą tylko jednostek PGL LP [8, 10, 11] albo nadal nie określają ważnych parametrów, np. dla stanowisk czerpania wody [8, 10, 11]. Zauważono również, że nawet bezwzględne zastosowanie istniejących wskazówek do wszystkich punktów czerpania wody na terenach leśnych nie zdoła zapewnić zapotrzebowania na środek gaśniczy w przypadku powstania bardzo dużych pożarów [18].

Współcześnie obserwować można coraz lepsze wyposażenie zastępów ratowniczych, które sprawia, iż zdecydowanie mniejszą

firefighting. Increasing maximum permissible mass of fire-fighting vehicles (see PN-EN 1846-1: 2000 [20] and PN-EN 1846-1: 2011 [21]), the use of maximum permissible axle loads, the more frequent transport of additional equipment on trailers or in containers, the use of portable water tanks supplied by shuttling heavy off-road vehicles, and often urban vehicles (tankers) – these are the needs that have to be met by the transport solutions in forest areas in the 21st century.

rolę odgrywa liczba ratowników, a większą pojazdy i sprzęt ratowniczy, którymi oni dysponują [19]. Parametry sieci dojazdów pożarowych, dróg dojazdowych, punktów czerpania wody oraz miejsc przeznaczonych do zawracania i manewrowania podczas akcji gaśniczych (drogi bez przejazdu, place przy punktach czerpania wody) muszą przystawać do zmieniających się wymagań ze strony pojazdów gaśniczych, jak również taktyki i technologii gaszenia pożarów lasów. Rosnące maksymalne masy rzeczywiste (MMR) samochodów gaśniczych (por. PN-EN 1846-1:2000 [20] a PN-EN 1846-1:2011 [21]), wykorzystywanie maksymalnych dopuszczalnych obciążeń osi, coraz częstsze transportowanie dodatkowego sprzętu na przyczepach lub w kontenerach, używanie podczas akcji gaśniczych przenośnych zbiorników na wodę zaopatrywanych przez wahałowo kursujące ciężkie pojazdy kategorii uterenowionej, a nierzadko miejskiej (cysterny) – to potrzeby, którym powinny sprostać rozwiązania komunikacyjne na terenach leśnych w XXI wieku.

Objective, scope and subject of research

The main purpose of this study was to evaluate the applicable legal regulations in the field of fire access roads and fire department connections in forests. The assessment was made through a survey completed by employees of the municipal and district headquarters of the State Fire Service (SFS).

An additional goal was to explore the relationship between the characteristics of forest areas and the responses given by respondents to the questions in the questionnaire.

For the purposes of the study, we formulated two research hypotheses:

1. The applicable requirements included in the provisions of commonly applicable law and industry guidelines regarding fire access roads and fire department connections in forest areas, in the opinion of municipal and district SFS headquarters employees, are appropriate for fast, efficient and safe firefighting operations in forest areas and do not require any changes in this respect.
2. Opinions about forest fire protection elements in Poland, as formed by PSP employees, are not affected by such characteristics of forest areas as geographical location of the headquarters, terrain, forest cover, ownership structure of forests, or the number of forest fires over a period of five years.

Material and methods

The survey was administered to employees of the State Fire Service units. An electronic questionnaire was sent to all (335) municipal and district PSP headquarters in Poland. Two survey campaigns were carried out – the first in spring and the second in autumn 2017. Headquarters contact details were downloaded from the website of the SFS Headquarters in Warsaw on 2 June 2017 [22].

Cel, zakres i przedmiot badań

Głównym celem pracy była ewaluacja obecnie obowiązujących regulacji prawnych w zakresie dojazdów pożarowych i punktów czerpania wody w lasach. Oceny dokonali pracownicy miejskich i powiatowych komend Państwowej Straży Pożarnej (PSP) w przeprowadzonym badaniu ankietowym.

Celem dodatkowym było zweryfikowanie zależności pomiędzy cechami obszarów leśnych a formułowanymi przez respondentów odpowiedziami na postawione w kwestionariuszu ankiety pytania.

Na potrzeby realizacji pracy przyjęto dwie hipotezy badawcze:

1. Obecnie obowiązujące wymagania zawarte w przepisach prawa powszechnego i wytycznych branżowych, dotyczące dojazdów pożarowych i punktów czerpania wody na terenach leśnych, w ocenie pracowników miejskich i powiatowych komend PSP są właściwe dla szybkiego, sprawnego i bezpiecznego prowadzenia akcji gaśniczych na terenach leśnych i w tym względzie nie wymagają wprowadzania żadnych zmian.
2. Na formułowane przez pracowników miejskich i powiatowych komend PSP oceny elementów zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów w Polsce nie mają wpływu takie cechy obszarów leśnych jak: położenie geograficzne komendy, ukształtowanie terenu, lesistość, struktura własnościowa lasów czy liczba pożarów lasów w pięcioleciu.

Materiał i metody

Badaniami objęto pracowników jednostek Państwowej Straży Pożarnej, kierując drogą elektroniczną kwestionariusz ankiety do wszystkich (335) miejskich i powiatowych komend PSP w kraju. Przeprowadzono dwie kampanie ankietowe – pierwszą wiosną, a drugą jesienią 2017 roku. Dane kontaktowe komend pobrano ze strony internetowej Komendy Głównej PSP w Warszawie 2 czerwca 2017 r. [22].

The survey questionnaire consisted of ten main questions (mostly multiple-choice, but with the option of adding comments). At the end of the questionnaire, there was a list of basic literature used in the preparation of the questions, which could also be used by respondents when answering. The first question, regarding the number, type and characteristics of vehicles that could be involved in fighting forest fires and were at the disposal of the surveyed unit was excluded from this study.

Information obtained from surveys was the basis for creating a coherent database in which responses from individual headquarters were grouped by province on the basis of five criteria.

1. **Terrain** – based on this criterion, SFS headquarters were divided into two groups: lowland departments, and highland/ mountain departments [23]. Lowland provinces include: Pomorskie, Zachodniopomorskie, Kujawsko-Pomorskie, Warmińsko-Mazurskie, Podlaskie, Lubuskie, Wielkopolskie, Łódzkie, Mazowieckie, Opolskie and some districts of the Lublin Province (Rycki, Bialski, Łęczyński, Puławski, Łukowski, and Lubartowski). And highland/ mountain provinces included: Dolnośląskie, Śląskie, Świętokrzyskie, Małopolskie, Podkarpackie and some districts of the Lubelskie Voivodship (Opolski, Janowski, Zamojski, Biłgorajski, Kraśnicki, and Hrubieszowski).
2. **Location on the east-west axis** – based on this criterion, PSP headquarters were divided into three groups: western, central and eastern [23]. The western provinces include: Zachodniopomorskie, Lubuskie, Wielkopolskie, Dolnośląskie, Opolskie; the central provinces are: Pomorskie, Kujawsko-Pomorskie, Łódzkie, Mazowieckie, Śląskie, Małopolskie; and eastern provinces include: Warmińsko-Mazurskie, Podlaskie, Lubelskie, Świętokrzyskie and Podkarpackie.
3. **Forest cover** – based on this criterion, SFS headquarters were assigned to one of four groups of provinces: with a small (<25.0%), medium (25.0–30.0%), high (30.1–35.0%) or very high (> 35.0%) forest cover ratio (fig. 2). The first group includes units from the Łódzkie, Mazowieckie, Lubelskie, and Kujawsko-Pomorskie provinces; the second from the Wielkopolskie, Opolskie, Świętokrzyskie, Małopolskie, and Dolnośląskie provinces; the third from the Podlaskie, Warmińsko-Mazurskie, and Śląskie provinces; and the fourth from the Zachodniopomorskie, Pomorskie, Podkarpackie and Lubuskie provinces [24].
4. **The average number of fires between 2013 and 2017** – based on this criterion, SFS headquarters were divided into three groups: <300 fires per year (Opolskie, Warmińsko-Mazurskie, Małopolskie, Podlaskie, and Zachodniopomorskie provinces), 301–450 fires per year (Pomorskie, Lubelskie, Podkarpackie, Lubuskie, and Kujawsko-Pomorskie provinces), or over 450 fires per year (Dolnośląskie, Świętokrzyskie, Wielkopolskie, Łódzkie, Śląskie, and Mazowieckie provinces) [25].
5. **The proportion of private forests** – based on this criterion, SFS headquarters were divided into three groups (fig. 3): with a proportion of private forests <10% (Lubuskie, Zachodniopomorskie, Dolnośląskie, Opolskie, and Warmińsko-Mazurskie provinces), 10–30% (Wielkopolskie, Pomorskie, Kujawsko-

Kwestionariusz ankiety składał się z dziesięciu głównych pytań (w większości o charakterze zamkniętym, ale z możliwością dodawania własnych komentarzy). Na końcu kwestionariusza zamieszczono spis podstawowej literatury wykorzystanej podczas przygotowywania pytań, z której skorzystać mogli również respondenci podczas udzielania odpowiedzi. Pytanie pierwsze dotyczące liczby, rodzaju i cech pojazdów, mogących brać udział w gaszeniu pożarów lasów, a będących w dyspozycji ankietowanej jednostki, wyłączono z tego opracowania.

Informacje pozyskane z ankiet były podstawą utworzenia wspólnej bazy danych, w której odpowiedzi z poszczególnych komend pogrupowano wg województw z uwzględnieniem pięciu kryteriów.

1. **Ukształtowanie terenu** – ze względu na to kryterium komendy PSP podzielono na dwie grupy: nizinne oraz wyżynne i górskie [23]. Do województw nizinnych zaliczono: pomorskie, zachodniopomorskie, kujawsko-pomorskie, warmińsko-mazurskie, podlaskie, lubuskie, wielkopolskie, łódzkie, mazowieckie, opolskie i część powiatów województwa lubelskiego (rycki, bialski, łęczyński, puławski, łukowski, lubartowski). Natomiast do podgórskich i górskich zaliczono województwa: dolnośląskie, śląskie, świętokrzyskie, małopolskie, podkarpackie i część powiatów województwa lubelskiego (opolski, janowski, zamojski, biłgorajski, kraśnicki, hrubieszowski).
2. **Położenie w osi wschód-zachód** – ze względu na to kryterium komendy PSP podzielono na trzy grupy: zachodnie, centralne i wschodnie [23]. Do województw zachodnich zaliczono: zachodniopomorskie, lubuskie, wielkopolskie, dolnośląskie, opolskie, do centralnych: pomorskie, kujawsko-pomorskie, łódzkie, mazowieckie, śląskie, małopolskie, a do wschodnich: warmińsko-mazurskie, podlaskie, lubelskie, świętokrzyskie i podkarpackie.
3. **Lesistość** – ze względu na to kryterium komendy PSP przydzielono do jednej z czterech grup województw o małej (< 25,0%), średniej (25,0–30,0%), dużej (30,1–35,0%) i bardzo dużej (> 35,0%) lesistości (ryc. 2). Do pierwszej grupy zaliczono jednostki z łódzkiego, mazowieckiego, lubelskiego, kujawsko-pomorskiego, do drugiej – z wielkopolskiego, opolskiego, świętokrzyskiego, małopolskiego, dolnośląskiego, do trzeciej z podlaskiego, warmińsko-mazurskiego, śląskiego oraz do czwartej z zachodniopomorskiego, pomorskiego, podkarpackiego i lubuskiego [24].
3. **Średnia liczba pożarów w pentadzie lat 2013–2017** – ze względu na to kryterium komendy PSP podzielono na trzy grupy: < 300 pożarów w roku (opolskie, warmińsko-mazurskie, małopolskie, podlaskie, zachodniopomorskie), 301–450 pożarów w roku (pomorskie, lubelskie, podkarpackie, lubuskie, kujawsko-pomorskie), powyżej 450 pożarów w roku (dolnośląskie, świętokrzyskie, wielkopolskie, łódzkie, śląskie, mazowieckie) [25].
4. **Udział lasów prywatnych** – ze względu na to kryterium komendy PSP podzielono na trzy grupy (ryc. 3): udział lasów prywatnych < 10% (lubuskie, zachodniopomorskie, dolnośląskie, opolskie, warmińsko-mazurskie), 10–30% (wielkopolskie, pomorskie, kujawsko-pomorskie, podkar-

Pomorskie, Podkarpackie, Śląskie, and Świętokrzyskie provinces), >30% (Podlaskie, Łódzkie, Lubelskie, Małopolskie, and Mazowieckie provinces) [24].

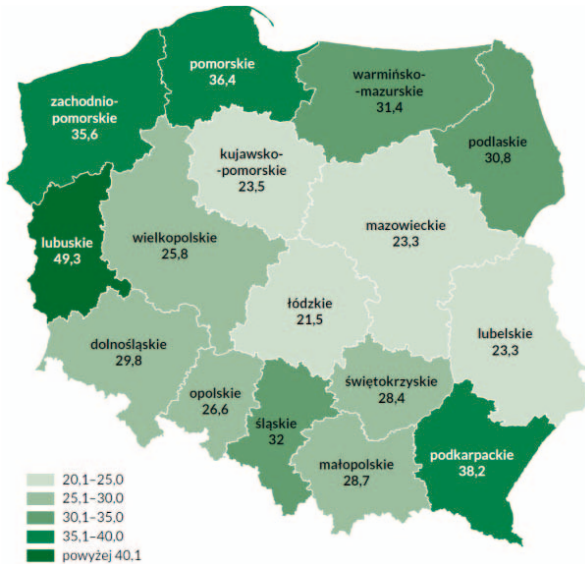


Figure 2. Forest cover in Poland by province

Rycina 2. Lesistość Polski wg województw

Source: Report on the state of forests in Poland 2017 [24].

Źródło: Raport o stanie lasów w Polsce 2017 [24].

packie, śląskie, świętokrzyskie), > 30% (podlaskie, łódzkie, lubelskie, małopolskie, mazowieckie) [24].

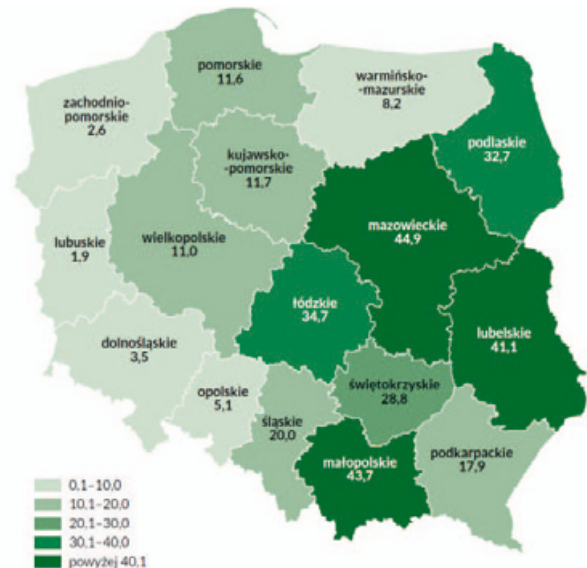


Figure 3. Proportion of private forests in the total forest area in each province

Rycina 3. Udział lasów prywatnych w ogólnej powierzchni leśnej województw

To assess the relationship between the qualitative feature X (with categories $X_1, X_2, \dots, X_k$) and the qualitative feature Y (with categories $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$) we used the following statistic [26, 27]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (1)$$

where: n_{ij} – observed number, E_{ij} – theoretical number, which is calculated by dividing the product of marginal numbers by the total number.

Assuming that the null hypothesis is true (X and Y features are independent), the statistic has an asymptotic distribution of χ^2 with $(k-1)(m-1)$ degrees of freedom at the assumed significance level $\alpha = 0,05$.

The relationships between these variables were tested using the Spearman's rank correlation coefficient [27].

Results and discussion

Out of 335 municipal and district SFS headquarters, 195 units (58%) participated in the study, sending back a total of 213 surveys (fig. 4). The most units were represented by the Mazowieckie (13%) and Wielkopolskie (10%) provinces, while the least by the Opolskie

Do oceny zależności pomiędzy jakościową cechą X (posiadającą kategorie $X_1, X_2, \dots, X_k$) i jakościową cechą Y (o kategoriach $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$) zastosowano statystykę [26, 27]:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \frac{(n_{ij} - E_{ij})^2}{E_{ij}} \quad (1)$$

gdzie: n_{ij} – liczebność obserwowana, E_{ij} – liczebność teoretyczna, którą obliczamy dzieląc iloczyn liczebności marginalnych przez liczebność całkowitą.

Przy założeniu prawdziwości hipotezy zerowej (cechy X i Y są niezależne) statystyka ma asymptotyczny rozkład χ^2 o $(k-1)(m-1)$ stopniach swobody na przyjętym poziomie istotności $\alpha = 0,05$.

Współzależności pomiędzy zmiennymi sprawdzono za pomocą współczynnika korelacji rang Spearmana [27].

Wyniki i dyskusja

Spośród 335 miejskich i powiatowych komend PSP w badaniach udział wzięło 195 jednostek (58%), odsyłając łącznie 213 ankiet (ryc. 4). Najwięcej jednostek reprezentowało województwo mazowieckie (13%) i wielkopolskie (10%), natomiast

(1%), and Podlaskie, Pomorskie and Lubuskie provinces (4% each). As many as 209 surveys were analysed in detail. We disregarded questionnaires that were incomplete, identical in content or coming from the headquarters with scarce forest areas.

najmniej – województwo opolskie (1%) oraz podlaskie, pomorskie i lubuskie (po 4%). Szczegółowej analizie poddano 209 ankiet, pomijając kwestionariusze niekompletne, identyczne w treści lub pochodzące z komend, na których terenie lasy występują sporadycznie.



Figure 4. Number of State Fire Service headquarters that took part in the research by province

Rycina 4. Liczba komend Państwowej Straży Pożarnej, które wzięły udział w badaniach wg województw

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Density of fire access roads

According to analyses carried out in the years 2014–2016, 46.8% of all roads in the State Forests served as forest fire access roads [28]. In the opinion of firefighters from most SFS units (60%), the current requirements for the density of fire access roads and public roads in forest areas were sufficient, and the SFS District Headquarters should be aware of any cases of an insufficient coverage of protected forest areas with roads (98% of responses). At the same time, there were quite a few respondents (35%) who believed there was a need to increase the density of fire access roads. The following arguments were cited the most often to justify the need for changes in this area:

- difficulties in maintaining proper communication between participants of firefighting operations, especially in the highland/ mountainous areas in multi-canopy forest stands,
- limited tactical range resulting from the reduction in the length of preparation of the hose line, while the preparation of long fire access roads:

Gęstość dojazdów pożarowych

Według analiz przeprowadzonych w latach 2014–2016 funkcję leśnych dojazdów pożarowych pełni 46,8% wszystkich dróg w Lasach Państwowych [28]. W opinii strażaków z większości jednostek PSP (60%) obecne wymagania dotyczące zagęszczenia dojazdów pożarowych i dróg publicznych na terenach leśnych są wystarczające, a Komenda Powiatowa PSP powinna mieć wiedzę o jakichkolwiek przypadkach braku wymaganego pokrycia siecią drogową chronionych terenów leśnych (98% odpowiedzi). Równocześnie nie brakuje poglądów (35%) o konieczności zwiększenia gęstości dojazdów pożarowych. Jako uzasadnienie potrzeby zmian w tym zakresie najczęściej przytaczane są następujące argumenty:

- trudności w utrzymaniu właściwej łączności pomiędzy uczestnikami akcji gaśniczej, zwłaszcza w terenach podgórskich i górskich w wielopiętrowych drzewostanach,
- ograniczony zasięg taktyczny wynikający z ograniczenia długości przygotowania linii węzowej, a samo przygotowanie długich linii gaśniczych:

requires more time and deployment of significant resources, which are often lacking in the initial stages of action,

is often associated with the need to pump water over considerable distances, which significantly extends the time, and limits the effectiveness, of rescue and fire-fighting activities,

results in the use of a significant amount of extinguishing agents to fill the hose lines, which, especially at the initial stage of firefighting, can have a negative impact on the effectiveness of such operations,

in combination with an unfavourable terrain results in the inability to achieve the assumed hose line efficiency (pressure loss) – requiring specialized equipment (extended travel time),

- shorter hose lines make it easier to move firefighting stations,
- a dense fire access network gives the opportunity to form defence lines and use heavy equipment, thereby reducing fire losses and the threat to rescuers especially in dense, multi-canopy forests with rich undergrowth,
- a significant distance between the rescue and fire-fighting vehicle and the place of fire forces the participants to carry the necessary equipment, which – especially in long-lasting operations – reduces the efficiency of firefighters and can negatively affect the efficiency of operations.

Some respondents also believe that modern legal regulations in this area are completely sufficient and occasional problems arise as a result of failure to apply, or misinterpretation of, the applicable provisions. To prove those statements, very reliable statistics were recalled for the number and area of fires in forest areas, which confirm the current high efficiency of the fire protection system in Polish forests [e.g. 24, 29, 30].

A statistical analysis of the collected data shows a significant impact of the location of the surveyed unit on the answers given. It was observed that the view about the proper density of fire access roads was more popular among SFS units from western Poland (84%), while in the eastern and central parts of the country, support for current regulations in this area dropped to 52% and 51%, respectively (table 1).

It was also demonstrated that the diversity of opinions regarding the density of fire access roads depends on the forest cover in the region. In areas where forest cover ratio was described as very high, the density of fire access roads was considered more appropriate (80%) than in areas where forest cover ratio was high (51%), medium (62%) or low (50%, table 2).

wymaga więcej czasu i zaangażowania znacznych sił i środków, których w początkowych etapach akcji często brakuje,

niejednokrotnie wiąże się z koniecznością przepompowywania lub przetłaczania wody na znaczne odległości co znacznie wydłuża czas i ogranicza skuteczność działań ratowniczo-gaśniczych, skutkuje zużyciem znaczącej ilości środków gaśniczych do napełnienia linii węzowych, co zwłaszcza w początkowym etapie gaszenia pożaru może negatywnie wpłynąć na skuteczność prowadzonych działań,

w połączeniu z niekorzystną konfiguracją terenu skutkuje brakiem możliwości osiągnięcia założonej wydajności linii węzowej (straty ciśnienia) konieczność zadysponowania specjalistycznego sprzętu (wydłużony czas dojazdu),

- krótsze linie węzowe umożliwiają łatwiejsze przemieszczanie stanowisk gaśniczych,
- gęsta sieć dojazdów pożarowych daje możliwość formowania linii obrony oraz wykorzystania ciężkiego sprzętu, zmniejszając tym samym straty pożarowe oraz zagrożenie dla ratowników szczególnie w gęstych, wielopiętrowych lasach z bogatym podszyciem,
- znaczny dystans pomiędzy pojazdem ratowniczo-gaśniczym a miejscem pożaru wymusza na uczestnikach akcji przenoszenie niezbędnego sprzętu o własnych siłach, co powoduje – szczególnie przy długotrwałych akcjach – obniżenie wydajności strażaka i może negatywnie wpłynąć na efektywność prowadzonych działań.

Wśród respondentów pojawiają się także opinie, że współczesne regulacje prawne w tym względzie są w zupełności wystarczające, a pojawiające się sporadycznie problemy to skutek niestosowania lub niewłaściwego interpretowania obowiązujących przepisów. Na dowód prawdziwości takiego stwierdzenia przywoływano bardzo dobre statystyki dla liczby i powierzchni pożarów na terenach leśnych, które potwierdzają aktualną wysoką sprawność systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego polskich lasów [m.in. 24, 29, 30].

Analiza statystyczna zebranych danych wykazała istotny wpływ lokalizacji ankietowanej jednostki na udzielane odpowiedzi. Odnotowano mianowicie, że pogląd o właściwej gęstości dojazdów pożarowych jest bardziej popularny w jednostkach PSP z terenów Polski zachodniej (84%), natomiast w części wschodniej i centralnej poparcie dla aktualnych regulacji w tym zakresie spada do odpowiednio 52 i 51% (tab. 1).

Wykazano również, że zróżnicowanie opinii o gęstości dojazdów pożarowych warunkowane jest lesistością regionu. Tam, gdzie lesistość określono jako bardzo dużą częściej uważano, że gęstość dojazdów pożarowych jest właściwa (80%), aniżeli tam, gdzie lesistość była duża (51%), średnia (62%) lub mała (50%, tab. 2).

Table 1. Distribution of answers regarding the correctness of the minimum density of fire access roads from the point of view of the policies and technology used for conducting firefighting operations, depending on the location of the surveyed unit (n = 208)**Tabela 1.** Rozkład odpowiedzi dotyczących poprawności przyjmowanych minimalnych gęstości dojazdów pożarowych z punktu widzenia taktyki i technologii prowadzenia akcji gaśniczych w zależności od położenia ankietowanej jednostki (n = 208)

Answer / Odpowiedź	Data / Dane	Unit location / Położenie jednostki		
		East / Wschód	Central / Centrum	West / Zachód
No / Nie	Number / Liczebność	27	48	9
	% of "Location" / % z „Położenie”	13.0	23.1	4.3
Yes / Tak	Number / Liczebność	29	49	46
	% of "Location" / % z „Położenie”	13.9	23.6	22.1
Chi-square test of independence / Test niezależności chi-kwadrat			$\chi^2 = 17,94, p < 0,001$	

Source: Own elaboration.**Źródło:** Opracowanie własne.**Table 2.** Distribution of answers regarding the correctness of the adopted minimum density of fire access roads from the point of view of the policies and technology used for conducting firefighting operations, depending on the forest cover ratio in a province (n = 208)**Tabela 2.** Rozkład odpowiedzi dotyczących poprawności przyjmowanych minimalnych gęstości dojazdów pożarowych z punktu widzenia taktyki i technologii prowadzenia akcji gaśniczych w zależności od lesistości województwa (n = 208)

Answer / Odpowiedź	Data / Dane	Province forest cover ratio / Lesistość województwa			
		Low / Mała	Medium / Średnia	High / Duża	Very High / Bardzo duża
No / Nie	Number / Liczebność	36	23	17	8
	% of "Location" / % z „Położenie”	17.3	11.1	8.2	3.7
Yes / Tak	Number / Liczebność	36	38	18	32
	% of "Location" / % z „Położenie”	17.3	18.3	8.7	15.4
Chi-square test of independence / Test niezależności chi-kwadrat		$\chi^2 = 10,83; p = 0,013$			

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

No correlation was confirmed between the answers given and any other analysed features.

Nie potwierdzono istnienia zależności pomiędzy udzielonymi odpowiedziami a pozostałymi analizowanymi cechami.

Carriageway width

In the analysed group of respondents, 72.7% were of the opinion that the recommended minimum width of a fire access road carriageway is sufficient for efficient and safe rescue operations. Persons questioning the current regulations in this area were the most likely to argue that there was a need to ensure the possibility of the vehicles involved in the firefighting operation being able to pass one another, a need to provide more space for rescue operation, or using fire access roads as firebreaks.

With regard to the question regarding the width of the carriageway, the existence of a correlation between the type of answers given and the analysed features of forest areas was not confirmed.

Carriageway width is very important on curvatures with suitable radii. This was demonstrated by our analysis of the turning radius

Szerokość jezdni

W analizowanej grupie respondentów 72,7% było zdania, że zalecana minimalna szerokość jezdni dojazdu pożarowego jest wystarczająca do sprawnego i bezpiecznego prowadzenia akcji ratunkowych. Osoby kwestionujące obecne regulacje w tym zakresie najczęściej argumentowały swoje stanowisko koniecznością zapewnienia możliwości mijania się pojazdów biorących udział w akcji gaśniczej, potrzebą zabezpieczenia większej ilości miejsca na prowadzenie akcji ratunkowej lub wykorzystaniem dojazdu pożarowego jako pasa przeciwpożarowego.

W odniesieniu do pytania dotyczącego szerokości jezdni nie potwierdzono istnienia zależności pomiędzy rodzajem udzielanych odpowiedzi i analizowanymi cechami obszarów leśnych.

Szerokość jezdni ma duże znaczenie na łukach o odpowiednich promieniach. Wykazały to prowadzone przez autorów

of fire-fighting vehicles. This research was conducted as part of the exercise codenamed LAS 2016 for the resources constituting the Forest Fire Fighting Module GFFV Poznań. One of the goals of the exercise was to test mobility in particularly difficult conditions of low bearing capacity forest roads. The exercise involved select SFS units supplied with equipment and vehicles specially designed for forest conditions. The study included 20 vehicles with various traction parameters, including cars with the largest weight and dimensions. It was found that off-road fire-fighting vehicles (and especially those with trailers) designed for forest firefighting require, at a turning radius $\alpha = 90^\circ$, an arc radius R greater than 11 m [31].

Horizontal and vertical clearance

The correctness of the required minimum horizontal and vertical clearance of the road was confirmed by nearly 88% of study participants. Based on the analysis of the information on the dimensions of rescue and fire-fighting vehicles submitted in the surveys, it can be concluded that the vast majority of cars used by the State Fire Service are not higher than 3.5 m. Higher vehicles (3.50–3.70 m) were reported only by eight respondents. It is true that the market currently offers heavy-duty special vehicles and fire-fighting vehicles with a height of nearly 4 meters (e.g. Mercedes-Benz Arocs 3348 6 × 6, Mercedes-Benz Arocs 3358 6 × 4), but so far only a few purchases of vehicles of this type by Polish fire brigades have been reported [32].

People questioning the current minimum dimensions of the horizontal and vertical clearance argue that fire access roads are not just for moving vehicles. If maintained well, these can constitute breaks in forest stands, becoming firebreaks for a spreading fire and facilitating the construction of defence lines. But while horizontal clearance is sufficient for the vehicles parked on the carriageway to be able to connect water currents to hose lines and possibly water-foam cannons, the vertical clearance is a serious limitation in this respect. In this situation, the five-meter vertical clearance seems to be fully justified.

With regard to the question about vertical and horizontal clearance, there was no correlation between the type of answers given and the features analysed.

Passing points

Analysis of survey results proves that answers suggesting the need to change the requirements for passing points are quite common. Nearly 50% of respondents considered it reasonable to increase their length to allow the movement of larger tactical units, fire platoons or companies, which could include large-size vehicles with trailers, e.g. container cars with pump module and hose storage containers. Wider passing points could also be used as stopping places for reserve forces, or locations to

analizy skrętności pojazdów gaśniczych. Badania prowadzono w ramach ćwiczeń pod kryptonimem LAS 2016 dla sił i środków stanowiących Moduł Gaszenia Pożarów Lasów GFFV Poznań. Celem ćwiczeń było między innymi testowanie zdolności do przemieszczania się w szczególnie trudnych warunkach dróg leśnych o małej nośności. W ćwiczeniach uczestniczyły doborowe jednostki PSP wyposażone w sprzęt i pojazdy specjalnie dedykowane do warunków leśnych. W badaniach udział wzięło 20 pojazdów o zróżnicowanych parametrach trakcyjnych, w tym wozy o największej masie i gabarytach. W efekcie stwierdzono, że uterenowione pojazdy gaśnicze (szczególnie z przyczepą) dedykowane do gaszenia pożarów lasów wymagają, przy kącie zwrotu $\alpha = 90^\circ$, promienia łuku R większego niż 11 m [31].

Skrajnia drogowa

Prawidłowość wymaganych minimalnych wymiarów skrajni drogowej potwierdza blisko 88% uczestników badania. Na podstawie analizy informacji o gabarytach pojazdów ratowniczo-gaśniczych przekazanych w ankietach stwierdzić można, że zdecydowana większość samochodów pozostających w służbie PSP nie przekracza wysokości 3,5 m. Wyższe pojazdy (3,50–3,70 m) pojawiły się w informacjach od respondentów tylko w ośmiu przypadkach. Co prawda obecnie na rynku w ofercie handlowej znajdują się ciężkie samochody specjalne i gaśnicze o wysokości bliskiej 4 metrów (np. Mercedes-Benz Arocs 3348 6 × 6, Mercedes-Benz Arocs 3358 6 × 4), ale dotąd odnotowano jedynie pojedyncze sygnały o zakupie tego typu pojazdów do polskich jednostek straży pożarnych [32].

Osoby kwestionujące obecne minimalne wymiary skrajni drogowej przypominają, że dojazdy pożarowe nie służą tylko przemieszczaniu się pojazdów. Dobrze utrzymane mogą stanowić przerwy w ciągłości drzewostanów, stając się pasami izolacyjnymi dla rozprzestrzeniającego się pożaru, na których można budować linie obrony. Wówczas, o ile wymiar poziomy skrajni jest wystarczający, aby ustawione na jezdni pojazdy miały możliwość wyprowadzenia prądów wody z linii węzowych oraz ewentualnie działek wodno-pianowych, o tyle wymiar pionowy stanowi w tym względzie poważne ograniczenie. W tej sytuacji pięciometrowy pionowy wymiar skrajni wydaje się być w pełni uzasadniony.

W odniesieniu do pytania dotyczącego skrajni drogowej nie potwierdzono istnienia zależności pomiędzy rodzajem udzielanych odpowiedzi i analizowanymi cechami.

Mijanki

Analiza wyników ankiet dowodzi, że poglądy o konieczności zmiany wymogów względem mijanek są dosyć powszechne. Blisko 50% respondentów uznało za zasadne zwiększenie ich długości, aby umożliwić przemieszczanie się większych związków taktycznych, plutonów czy kompanii pożarniczych, w skład których wchodzić mogą znacznych rozmiarów pojazdy z przyczepami, np. samochody kontenerowe z kontenerami pompowymi i węzowymi. Większe mijanki mogłyby również znaleźć

be used for mobile fire department connections (tank trucks) or portable water reservoirs.

In the conducted research the view on the need to organise one-way traffic during firefighting operations was quite popular (30.6%). If this is possible in a given situation, it can eliminate the dangers arising from two-way traffic – especially on narrow roads, with inadequate passing points.

The need to build wider passing points was more often suggested in units located in eastern (59%) and central (50%) Poland than in units from the western part of the country (35%). These differences between the groups were confirmed statistically (table 3).

zastosowanie jako miejsca postoju sił odvodu, sytuowania mobilnych punktów czerpania wody (autocysterny) czy też ustawiania przenośnych zbiorników wodnych.

W przeprowadzonych badaniach dosyć popularny (30,6%) okazał się pogląd o potrzebie organizowania podczas akcji gaśniczych ruchu jednokierunkowego. Jeżeli jest to w danej sytuacji wariant możliwy do zastosowania, to eliminuje zagrożenia wynikające z ruchu dwukierunkowego – szczególnie na drogach wąskich i niewłaściwie wyposażonych w miejsca do mijania.

Konieczność budowania większych mijanek częściej wskazywana była w jednostkach położonych we wschodniej (59%) i centralnej (50%) Polsce, aniżeli w jednostkach z zachodu kraju (35%). Wykazane różnice między grupami potwierdzono statystycznie (tab. 3).

Table 3. Distribution of answers regarding the legitimacy of building larger passing points depending on the location of the surveyed unit (n = 209)

Tabela 3. Rozkład odpowiedzi dotyczących zasadności budowania większych mijanek w zależności od położenia ankietowanej jednostki (n = 209)

Odpowiedź	Data / Dane	Unit location / Położenie jednostki		
		East / Wschód	Central / Centrum	West / Zachód
No / Nie	Number / Liczebność	23	49	36
	% of "Location" / % z „Położenie"	11.0	23.4	17.3
Yes / Tak	Number / Liczebność	33	49	19
	% of "Location" / % z „Położenie"	15.8	23.4	9.1
Chi-square test of independence / Test niezależności chi-kwadrat		$\chi^2 = 6,81$, $p = 0,033$		

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

It seems reasonable to consider the construction of passing points at public road exits [31]. As a result, movement at such exits would be safer and smoother. The location of a passing point next to a public road and parallel to the exit can be very beneficial for many reasons: the exit becomes safer, visibility improves, and the passing point can be used as a place for loading or parking for fire-fighting and transport vehicles.

No correlations were found for any of the other analysed features.

Rozważyć należałoby propozycję budowy mijanek przy zjazdach na drogi publiczne [31]. W efekcie pokonywanie zjazdów byłoby bardziej bezpieczne i płynniejsze. Usytuowanie mijanki przy drodze publicznej równoległe do zjazdu może być bardzo korzystne z wielu powodów: zjazd staje się bezpieczniejszy, poprawia się widoczność, a mijanka może posłużyć jako miejsce przeładunkowe albo postojowe dla pojazdów gaśniczych i wozowych.

W zakresie pozostałych spośród analizowanych cech nie potwierdzono istnienia zależności.

Dead-end fire access roads

The preferred termination of a dead-end fire access road is a manoeuvring area (60%) or a loop detour (39%). According to 1.5% of respondents, the best termination for dead-end roads is the T-shaped road design. The opinions regarding the minimum dimensions of manoeuvring areas varied. Nearly 43% of respondents were convinced that the currently required dimensions were appropriate, while others suggested increasing the minimum square size to 25 m (22%) or even 30 m (31%).

Zakończenie dojazdów pożarowych bez przejazdu

Preferowanym zakończeniem dojazdu pożarowego bez przejazdu jest plac manewrowy (60%) lub objazd pętlicowy (39%). Według 1,5% ankietowanych najlepszym zakończeniem dróg bez przejazdu jest układ drogowy w kształcie litery „T”. W kwestii minimalnych wymiarów placów manewrowych zdania są bardziej podzielone. Blisko 43% respondentów wyraziło przekonanie, że obecnie wymagane wymiary są właściwe, podczas gdy pozostali sugerowali zwiększenie minimalnych rozmiarów placu do 25 m (22%), a nawet 30 m (31%).

As regards the question about the termination of dead-end fire access roads, no correlation was found between the type of answers given and the features analysed.

Design speed

Design speed on fire access roads is not regulated by any commonly applicable law. Nevertheless, new and redeveloped fire access roads should meet the requirements for forest roads, for which the design speed is specified at 30 km/h [10, 11]. Slightly over 63% of respondents believed that this speed was appropriate, 23% suggested the appropriate speed to be 40 km/h, and 12% respondents – 50 km/h.

An increase in design speed for forest roads is unlikely. This would require roads to be designed with a higher standard of geometric parameters, which would significantly increase the costs, both financial and environmental, of such projects. At the same time, the most common types of pavement used in forests would be exposed to faster deterioration as a result of road traffic. It should be added that, during firefighting operations, most modernised forest roads allow driving at speeds much higher than the design speed.

With regard to the question about the design speed, the correlation between the type of answers and features analysed was not confirmed.

Surface bearing capacity

The results of surveys in SFS units clearly indicate the need to increase the current requirements regarding the minimum bearing capacity of fire access road surfaces. Proponents of this view (65%) justify their position with a clear increase in the maximum permissible mass of rescue and fire-fighting vehicles, including those designed specifically for forest fires. This trend has already been reflected, e.g., in the change in limit values used in the classification of rescue and fire-fighting vehicles due to maximum permissible mass introduced by the PN-EN 1846-1: 2011 standard [21].

For the question regarding the bearing capacity of the surface, the existence of a correlation between the type of answers given and the features analysed was not confirmed.

Road passability

The problem in managing the road and fire access road network may be the lack of a definition for the set of parameters determining the passability of fire access roads and other roads not serving as fire access roads. Exceeding the adopted limit values would then allow the automatic classification of the given road section as impassable and in need of quick repair.

W zakresie pytania dotyczącego zakończenia dojazdów pożarowych bez przejazdu nie potwierdzono istnienia zależności pomiędzy rodzajem udzielanych odpowiedzi i analizowanymi cechami.

Prędkość projektowa

Prędkość projektowa na dojazdach pożarowych nie jest parametrem regulowanym jakimkolwiek aktem prawa powszechnego. Niemniej budowane lub przebudowywane dojazdy pożarowe powinny spełniać wymagania stawiane drogom leśnym, dla których prędkość projektową określono w granicach 30 km/h [10, 11]. Nieco ponad 63% spośród badanych uważa, że prędkość ta jest właściwa, 23% wskazało jako odpowiednią prędkość 40 km/h, a 12% respondentów – 50 km/h.

Zwiększenie prędkości projektowej dla dróg leśnych jest mało prawdopodobne. Wymusiłoby to projektowanie dróg o wyższym standardzie parametrów geometrycznych, co znacznie podniosłoby koszty realizacji inwestycji nie tylko finansowe, ale i ekologiczne. Jednocześnie najczęściej stosowane w lasach rodzaje nawierzchni narażone byłyby na przyspieszony proces niszczenia w wyniku ruchu drogowego. Dodać należy, że na większości zmodernizowanych dróg leśnych w czasie prowadzenia akcji gaśniczych możliwe jest kierowanie pojazdami z prędkością dużo wyższą niż projektowa.

W odniesieniu do pytania dotyczącego prędkości projektowej nie potwierdzono istnienia zależności pomiędzy rodzajem udzielanych odpowiedzi i analizowanymi cechami.

Nośność nawierzchni

Wyniki ankietyzacji w jednostkach PSP wyraźnie wskazują na potrzebę zwiększenia obecnych wymagań odnośnie minimalnej nośności nawierzchni dojazdów pożarowych. Zwolennicy tego poglądu (65%) uzasadniają swoje stanowisko wyraźnym wzrostem maksymalnej masy rzeczywistej (MMR) produkowanych pojazdów ratowniczo-gaśniczych, w tym tych dedykowanych do gaszenia pożarów lasów. Trend ten znalazł już swoje odzwierciedlenie między innymi w zmianie wartości granicznych stosowanych w klasyfikacji pojazdów ratowniczo-gaśniczych ze względu na MMR wprowadzonych normą PN-EN 1846-1:2011 [21].

W zakresie pytania dotyczącego nośności nawierzchni nie potwierdzono istnienia zależności pomiędzy rodzajem udzielanych odpowiedzi i analizowanymi cechami.

Przejezdność drogi

Problem w zarządzaniu siecią drogową i dojazdów pożarowych może stanowić brak zdefiniowania zbioru parametrów określających przejezdność dojazdu pożarowego i innych dróg niepełniących funkcji dojazdów pożarowych. Przekroczenie przyjętych wartości granicznych pozwoliłoby wówczas na automatyczne kwalifikowanie danego odcinka drogowego jako nieprzejezdnego ze wskazaniem do jak najszybszej naprawy.

The best and easily measurable characteristics describing the passability of a road section for fire engines are the bearing capacity of the road surface (78% of respondents) and compliance with the minimum dimensions for the width of the road and horizontal and vertical clearance (70%). The evenness of the surface is also an important element – 53% of respondents think so. The respondents noted that forest fire-fighting operations involve not only vehicles with off-road chassis, but often also off-road capable and urban vehicles. In this case, the amount of vehicles' ground clearance is often smaller than deep ruts.

In the context of road passability, other important aspects were the lack of surface defects (25% of respondents), and stabilised shoulders (13%).

In the comments to this question, respondents emphasised the need to maintain the passability of other forest roads that are outside the fire access road system. When extinguishing forest fires, these allow firefighting vehicles to arrive to the immediate vicinity of the fire, enable the construction of fire extinguishing lines and facilitate the delivery of equipment (e.g. an ATV with a trailer), and in the event of a change in the fire situation, enable the evacuation of rescuers and equipment. Their role during rescue operations cannot be overestimated, hence it is important that they are also kept passable.

For this question, no correlation was confirmed between the type of answers given and the features analysed.

To conclude the description of this aspect, it is important to remember that the activities of State Forests units intended to take care of State assets have contributed to the improvement of the technical condition of forest roads. Currently, nearly half of the forest roads are in good or satisfactory condition, allowing smooth traffic [33].

Maximum longitudinal gradient of the carriageway

For a firefighting vehicle to be approved for use in fire brigades, it must meet certain requirements, confirmed by a certificate of approval issued by CNBOP-PIB in Józefów. One of them is the ability to move on inclined surfaces – 17° for off-road capable vehicles and 27° for off-road vehicles [34], where these requirements relate to the vehicle's movement on a non-slip surface. The vast majority of forest roads do not have this type of surface, hence the question about limiting the longitudinal gradients of fire access roads seemed fully justified.

In the analysed group, 93% of respondents were in favour of the need to introduce such legal regulations. In the field, especially from the driver's perspective, it is not easy to assess the gradient. In response to the difficult question regarding the determination of the maximum value of the gradient that should be allowed for fire access roads, 45% of respondents said that road gradient should be limited to 7% (4°), 10% (6°) seemed appropriate to 38%, while 10% of them believed that the maximum road gradient should be limited to 13% (8°).

The maximum road gradient of fire access road surfaces has not yet been limited by law. Guidelines for adopting the value of this

Najlepsze, łatwo mierzalne charakterystyki opisujące przejeżdżalność danego odcinka drogowego dla pojazdów straży pożarnych to nośność nawierzchni (78% ankietowanych) oraz zachowanie minimalnych wymiarów szerokości jezdni i skrajni drogowej (70%). Ważnym elementem jest także równość nawierzchni – tak uważa 53% respondentów. Ankietowani sygnalizują, że w akcji gaśniczej lasu biorą udział nie tylko pojazdy z podwoziem terenowym, ale często używa się pojazdów uterenowionych i miejskich. W takim przypadku wielkość prześwitu nadwozia pojazdu jest niejednokrotnie mniejsza od głębokich kolein.

Dla 25% ankietowanych w kontekście przejeżdżalności drogi istotny jest również brak ubytków w nawierzchni, a także utwardzone pobocze (13%).

W komentarzach do tego pytania zwracano uwagę na utrzymanie przejeżdżalności pozostałych dróg leśnych, będących poza systemem dojazdów pożarowych. Podczas gaszenia pożarów lasów pozwalają one na dotarcie samochodów gaśniczych w bezpośrednie okolice pożaru, umożliwiają budowę linii gaśniczych oraz ułatwiają dostarczanie sprzętu (np. quadem z przyczepką), a w przypadku zmiany sytuacji pożarowej umożliwiają ewakuację ratowników oraz sprzętu. Ich rola podczas akcji ratunkowych jest nie do przecenienia, stąd ważne jest, aby i one zachowywały kryterium przejeżdżalności.

W ramach omawianego pytania nie potwierdzono istnienia zależności pomiędzy rodzajem udzielanych odpowiedzi i analizowanymi cechami.

Podsumowując to zagadnienie, należy przypomnieć, że działania jednostek LP mających na celu dbałość o majątek Skarbu Państwa przyczyniły się do poprawy stanu technicznego dróg leśnych. Aktualnie blisko połowa dróg leśnych jest w stanie technicznym dobrym i zadowalającym, pozwalającym na prowadzenie ruchu bez utrudnień [33].

Maksymalne pochylenia podłużne jezdni

Aby pojazd gaśniczy został dopuszczony do eksploatacji w jednostkach straży pożarnych, musi spełnić określone wymagania, co potwierdzone zostaje świadectwem dopuszczenia wydawanym przez CNBOP-PIB w Józefowie. Jednym z nich jest zdolność do pokonywania wzniesień wynosząca 17° dla kategorii pojazdów uterenowionych i 27° dla kategorii pojazdów terenowych [34], przy czym wymagania te dotyczą sytuacji poruszania się pojazdu po nawierzchni antypoślizgowej. Zdecydowana większość dróg leśnych nie posiada tego typu nawierzchni, stąd pojawienie się pytania o ograniczenie spadków podłużnych jezdni dojazdów pożarowych wydało się w pełni zasadne.

W analizowanej grupie 93% respondentów opowiedziało się za potrzebą wprowadzenia tego typu regulacji prawnych. W terenie, zwłaszcza z perspektywy kierowcy, nie jest łatwo dokonać oceny wartości pochylenia. W odpowiedzi na trudne pytanie, dotyczące określenia maksymalnej wartości spadku, jaki powinien charakteryzować dojazdy pożarowe, 45% respondentów stwierdziło, że pochylenie dróg powinno zostać ograniczone do 7% (4°), 10% (6°), właściwe wydało się dla 38% opiniodawców, natomiast 10% spośród nich uważało, że największe maksymalne pochylenie jezdni powinno się ograniczyć do 13% (8°).

parameter have been in PGL LP for a long time and apply to all forest roads. 13% [10] was assumed as the highest permissible decrease in pavement level on forest roads, while for lowland areas – up to 7% [11, 10]. On roads with unpaved surfaces, gradelines consistent with the main direction of transport should not exceed 6%, and on roads with hard surfaces – 9% [10].

With regard to the question of the maximum longitudinal gradient of the carriageway, the relationship between the type of answers given and the features analysed has not been confirmed.

Maksymalne pochylenie niwelety nawierzchni dojazdów pożarowych dotąd nie zostało ograniczone przepisami prawa. Wytyczne odnośnie przyjmowania wartości tego parametru od dłuższego czasu funkcjonują w PGL LP i dotyczą ogółu dróg leśnych. Za największy dopuszczalny spadek niwelety nawierzchni na drogach leśnych przyjęto 13% [10], natomiast dla terenów nizinnych – do 7% [11, 10]. Na drogach o nawierzchniach gruntowych pochylenia niwelety na podjazdach zgodnych z głównym kierunkiem transportu nie powinny przekraczać 6%, zaś na drogach o nawierzchniach twardych – 9% [10].

W odniesieniu do pytania dotyczącego maksymalnego pochylenia podłużnego jezdni nie potwierdzono istnienia zależności pomiędzy rodzajem udzielanych odpowiedzi i analizowanymi cechami.

Table 4. Distribution of answers regarding elements of design and maintenance of fire department connections in forest areas divided into lowland, highland and mountainous regions

Tabela 4. Rozkład odpowiedzi dotyczących elementów projektowania i utrzymania punktów czerpania wody na terenach leśnych z podziałem na regiony nizinne oraz wyżynne i górskie

Elements / Elementy	Data / Dane	Region	
		Lowland / Nizinny	Highland and mountains / Wyżyny i górski
Hardened manoeuvring space Utwardzony plac	Number / Liczebność	36	20
	% of „Region” / % z „Położenie”	31.0	31.7
Hardened manoeuvring space with the right dimensions Utwardzony plac z właściwymi wymiarami	Number / Liczebność	50	31
	% of „Region” / % z „Położenie”	43.1	49.2
Hardened access road Utwardzona droga dojazdowa	Number / Liczebność	60	35
	% of „Region” / % z „Położenie”	51.7	55.6
Marking of the fire department connection Oznakowanie punktu czerpania wody	Number / Liczebność	42	33
	% of „Region” / % z „Położenie”	36.2	52.4
Marking of the access road Oznakowanie drogi dojazdowej	Number / Liczebność	36	33
	% of „Region” / % z „Położenie”	31.0	52.4
Silt Zamulenie	Number / Liczebność	31	29
	% of „Region” / % z „Położenie”	26.7	46.0
Depth of water intake Głębokość poboru wody	Number / Liczebność	51	40
	% of „Region” / % z „Położenie”	44.0	63.5
Access to water table Zejście do lustra wody	Number / Liczebność	38	33
	% of „Region” / % z „Położenie”	32.8	52.4
Increased number of reservoirs Większa liczba zbiorników	Number / Liczebność	11	15
	% of „Region” / % z „Położenie”	9.5	23.8
Reservoir purity Czystość zbiornika	Number / Liczebność	37	33
	% of „Region” / % z „Położenie”	31.9	52.4
Frequent maintenance Częsta konserwacja	Number / Liczebność	35	31
	% of „Region” / % z „Położenie”	30.2	49.2
Method of water intake Częsta konserwacja	Number / Liczebność	31	23
	% of „Region” / % z „Położenie”	26.7	36.5

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Fire department connections

The method of arranging fire department connections in forest areas was rated as “very good” by just over 1% of the representatives of the State Fire Service units, while as many as 48% of respondents said that their arrangement “requires more care” (19% “good”, 32% “sufficient”). The most common comments concerned hardening of the access road surface (53%), water intake depth (51%), hardening of the manoeuvring space with appropriate dimensions (45%), marking of the water intake point (42%). Elements indicated less frequently included: descent to the water table (40%), cleanliness of the reservoir (39%), marking of the access road (39%), maintenance frequency (37%), degree of silting (34%), hardening of the manoeuvring space (31%) or the method of water intake (30%). The survey showed that the smallest problem in forest areas was caused by an insufficient number of reservoirs (15%).

Correlation analysis showed a statistically significant connection between the assessment of methods of arranging fire department connections and the forest cover of the voivodship ($r = 0.19$, $p = 0.006$) and the share of private forests ($r = 0.17$, $p = 0.016$). Where the region's forest cover was smaller and the share of private forests was higher, the methods of organising intake points were rated worse.

All respondents – both those from the units located in the lowlands, as well as from the units located in the foothills and in the mountains – considered the most important elements for the effectiveness of the firefighting operations to be a paved access road and a manoeuvring space with the right dimensions (table 4). The respondents from the units located in the mountains and in highlands were more likely than the respondents from the units located in lowlands to pay attention to the marking of the water intake point and the access road, silting, depth of water intake, descent to the water table, a greater number of reservoirs and their cleanliness.

Conclusion

the analysis of the results obtained confirmed that, in the opinion of the employees of the State Fire Service, the currently applicable laws on the principles of forest fire protection are sufficient to implement preventive measures, provide active protection and carry out rescue operations. Research results indicate that employees of municipal and district SFS departments expect changes in regulations regarding the bearing capacity of fire access surfaces and methods of arranging fire department connections. In addition, respondents pay attention to the distance between fire access roads. On average, 4 out of 10 departments think it should be smaller. Many of the respondents emphasised that the higher the density of fire access road networks, the faster the firefighters can reach the source of fire, making the extinguishing operation more efficient. In the remaining issues addressed by the survey, there was less agreement between the respondents, with the majority confirming that the applicable laws are reasonable and need to be strictly enforced.

Punkty czerpania wody

Sposób organizowania punktów czerpania wody na terenach leśnych „bardzo dobrze” oceniło tylko nieco ponad 1% badanych przedstawicieli jednostek PSP, podczas gdy aż 48% respondentów uznało, że ich organizacja „wymaga większej troski” (19% „dobrze”, 32% „wystarczająco”). Najczęstsze uwagi dotyczyły: utwardzenia nawierzchni drogi dojazdowej (53%), głębokości poboru wody (51%), utwardzenia placu manewrowego o odpowiednich wymiarach (45%), oznakowania punktu czerpania wody (42%). Rzadziej wskazywano na takie elementy jak: zejście do lustra wody (40%), czystość zbiornika (39%), oznakowanie drogi dojazdowej (39%), częstotliwość konserwacji (37%), stopień zamulenia (34%), utwardzenie placu (31%) czy sposób poboru wody (30%). Z badań wynika, że najmniejszy problem na terenach leśnych stwarza niewystarczająca liczba zbiorników (15%).

Analiza korelacyjna wykazała statystycznie istotne powiązanie między oceną metod organizowania punktów czerpania wody a lesistością województwa ($r = 0,19$, $p = 0,006$) i udziałem lasów prywatnych ($r = 0,17$, $p = 0,016$). Tam gdzie lesistość regionu była mniejsza, a udział lasów prywatnych był większy, gorzej oceniano metody organizowania punktów.

Wszyscy ankietowani – zarówno ci z jednostek położonych na niżu, jak i z jednostek położonych na pogórzu i w górach – za elementy o największym znaczeniu dla skuteczności przeprowadzanych akcji gaśniczych uznali utwardzoną drogę dojazdową i plac manewrowy o właściwych wymiarach (tab. 4). Ankietowani z jednostek położonych w górach i na pogórzu częściej niż ankietowani z jednostek położonych na niżu zwracali uwagę na oznakowanie punktu czerpania wody i drogi dojazdowej, zamulenie, głębokość poboru wody, zejście do lustra wody, większą liczbę zbiorników i ich czystość.

Podsumowanie

Analiza uzyskanych wyników potwierdziła, że w ocenie ankietowanych pracowników PSP obecnie obowiązujące przepisy w sprawie zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów w większości są wystarczające do prowadzenia działań profilaktycznych, pełnienia czynnej ochrony oraz przeprowadzania akcji ratunkowych. Wyniki badań wskazują, że pracownicy miejskich i powiatowych komend PSP oczekują zmian w regulacjach dotyczących nośności nawierzchni dojazdów pożarowych i metod organizowania punktów czerpania wody. Ponadto ankietowani zwracają uwagę na odległości między dojazdami pożarowymi. Średnio 4 na 10 komend uważa, że powinny być one mniejsze. Wiele spośród respondentów podkreśla, że im większa jest gęstość sieci dojazdów pożarowych, tym szybciej można dotrzeć do źródła ognia, a akcja gaśnicza jest sprawniejsza. W pozostałych, będących przedmiotem badań, kwestiach ankietowani nie są już tak zgodni, przy czym większość potwierdza słuszność obowiązujących przepisów i konieczność bezwzględnego egzekwowania ich przestrzegania.

The expected influence of features of the SFS unit location such as terrain, location in the east-west axis, forest cover, the average number of fires or the share of private forests on the views presented in the survey regarding the legal basis for the functioning of the forest fire protection system in Poland was not confirmed by the obtained results. Exceptions in this respect are:

- answers with a positive assessment of the density of fire access roads from SFS units from western Poland were clearly more prevalent compared to the corresponding answers by units from the eastern and central parts,
- similarly, employees of units from areas with very high forest covers were less likely to raise objections as to the density of fire access roads,
- units located in eastern and central Poland were more likely to suggest the need for building larger passing points,
- respondents from units located in provinces with smaller forest covers and with a greater share of private forests gave less favourable assessments of fire department connections in forest areas.

It should be mentioned that the State Forests, together with the Department of Forest Engineering of the Poznań University of Life Sciences, conducts its own research on the optimisation of the density of the forest road network – including fire access roads [35]. Joint efforts have led to the development of instructions for road surveys for all forest inspectorates in Poland [3]. An important element of this documentation is the improvement of fire access roads' functionality. The survey shows that a rational road density is determined not only by the fire hazard category, but also by the planned freight traffic, terrain, methods of obtaining wood, the size of forest complexes, the location of public road networks and roads of other categories, and the presence of areas of high natural value. In these areas, increasing the density of roads, including fire access roads, widening them and building associated facilities must be carried out in accordance with applicable nature protection principles.

Based on the analysis of the results of surveys conducted among employees of municipal and district SFS departments, the following conclusions and generalisations can be formulated:

1. The currently applicable requirements contained in the provisions of commonly applicable law and industry guidelines regarding fire access roads and fire department connections in forest areas, in the opinion of municipal and district SFS department employees, are largely appropriate for fast, efficient and safe firefighting operations in forest areas.
2. The biggest doubts among the respondents regarding the validity of the existing solutions are raised by the bearing capacity of fire access road surfaces and the arrangement of fire department connections.
3. It is also worth noting the need for strict enforcement of applicable law, often indicated by respondents, with regard to maintaining the accessibility of fire access roads and other forest roads that are important for forest rescue operations.

Spodziewana możliwość wpływu takich cech lokalizacji jednostki PSP, jak ukształtowanie terenu, położenie w osi wschód-zachód, lesistość, średnia liczba pożarów czy udział lasów prywatnych, na prezentowane w ankiecie poglądy dotyczące podstaw prawnych funkcjonowania systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów w Polsce nie znalazły potwierdzenia w uzyskanych wynikach badań. Wyjątki w tym względzie to:

- wyraźnie częściej pojawiające się poglądy o właściwej gęstości dojazdów pożarowych w jednostkach PSP z terenów Polski zachodniej w porównaniu do jednostek z części wschodniej i centralnej,
- podobnie rzadziej zastrzeżenia do właściwej gęstości dojazdów pożarowych zgłaszają pracownicy jednostek z terenów o bardzo dużej lesistości,
- częstsze wskazywanie konieczności budowania większych mijanek w jednostkach położonych we wschodniej i centralnej Polsce,
- gorsze oceny organizacji punktów czerpania wody na terenach leśnych formułowały osoby z jednostek zlokalizowanych w województwach o mniejszej lesistości i o większym udziale lasów prywatnych.

Należy nadmienić, że PGL LP prowadzi wraz z Katedrą Inżynierii Leśnej Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu własne badania dotyczące optymalizacji gęstości leśnej sieci drogowej – w tym przeciwpożarowej [35]. Efektem wspólnych działań jest opracowanie instrukcji wykonywania operatów drogowych dla wszystkich nadleśnictw w Polsce [3]. Ważnym elementem sporządzonej dokumentacji jest podnoszenie funkcjonalności dojazdów pożarowych. Z przeprowadzonych badań wynika, że racjonalne zagęszczenie dróg determinuje nie tylko kategoria zagrożenia pożarowego, ale także planowany potok ładunków, ukształtowanie terenu, sposób pozyskania surowca drzewnego, wielkość kompleksów leśnych, lokalizacja sieci dróg publicznych i dróg innych własności oraz występowanie obszarów cennych przyrodniczo. Na tych terenach zwiększanie gęstości dróg, w tym dojazdów pożarowych, ich poszerzanie oraz budowa urządzeń towarzyszących musi być przeprowadzane zgodnie z obowiązującymi zasadami ochrony przyrody.

Na podstawie analizy zgromadzonych wyników badań ankietowych przeprowadzonych wśród pracowników Miejskich i Powiatowych Komend PSP sformułować można następujące wnioski i uogólnienia.

1. Obecnie obowiązujące wymagania zawarte w przepisach prawa powszechnego i wytycznych branżowych, dotyczące dojazdów pożarowych i punktów czerpania wody na terenach leśnych, w ocenie pracowników miejskich i powiatowych komend PSP w dużej mierze są właściwe dla szybkiego, sprawnego i bezpiecznego prowadzenia akcji gaśniczych na terenach leśnych.
2. Największe wątpliwości wśród respondentów co do słuszności obowiązujących rozwiązań budzi nośność nawierzchni dojazdów pożarowych oraz organizacja punktów czerpania wody.
3. Wartą odnotowania jest również często sygnalizowana przez respondentów potrzeba bezwzględnego egzekwowania wykonywania obowiązującego prawa w zakresie

4. It seems important to define the parameters characterising forest roads/fire access roads, as the legally regulated requirements apply only to roads/access roads that are being constructed or altered.
 5. The assessment of the elements of forest fire protection in Poland, as given by employees of municipal and district SFS departments, was not influenced by such features of their work environment as: geographical location of the department, terrain, forest cover, forest ownership structure or the number of forest fires over a period of five years.
 6. The analysis of the results showed a relationship between the geographical location of the department and the formulated assessments regarding the density of fire access roads, and the need to build wider passing points. The forest cover of the region affected the responses related to the density of fire access roads and the arrangement of fire department connections. The share of private forests also had an impact on the assessment of the arrangement of water intake points. No relationship was found between the number of forest fires in the region and the respondents' answers.
- m.in. utrzymania przejezdności dojazdów pożarowych i pozostałych ważnych z punktu widzenia prowadzenia akcji ratowniczych dróg leśnych.
 4. Wydaje się, że istotnym byłoby zdefiniowanie parametrów charakteryzujących przejezdność drogi leśnej/dojazdu pożarowego, gdyż regulowane prawem wskazania dotyczą tylko dróg/dojazdów budowanych lub przebudowywanych.
 5. Na formułowane przez pracowników miejskich i powiatowych komend PSP oceny elementów zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów w Polsce nie mają wpływu takie cechy środowiska ich pracy jak: położenie geograficzne komendy, ukształtowanie terenu, lesistość, struktura własnościowa lasów czy liczba pożarów lasów w pięcioleciu.
 6. Analiza wyników wykazała zależność między położeniem geograficznym jednostki a formułowanymi ocenami dotyczącymi gęstości dojazdów pożarowych i potrzeby budowy większych mijanek. Z kolei lesistość regionu oddziałuje na odpowiedzi związane z gęstością dojazdów oraz organizacją punktów czerpania wody. Na oceny dotyczące organizowania punktów czerpania wody również wpływ miał udział lasów prywatnych. Nie wykryto związku liczby pożarów lasów w regionie na udzielane przez respondentów odpowiedzi.

Literature / Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 16 sierpnia 1999 r. w sprawie szczególnych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów (Dz. U. z 1999 r., Nr 73, poz. 824).
- [2] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009 r. w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych. Dz. U. z 2009 r., Nr 124 poz. 1030.
- [3] *Instrukcja wyznaczania docelowej sieci drogowej nadleśnictwa*, Załącznik do Zarządzenia nr 28 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z dnia 27 kwietnia 2018 roku w sprawie wprowadzenia „Instrukcji wyznaczania docelowej sieci drogowej nadleśnictwa” (OB.011.15.2018).
- [4] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 marca 2006 r. w sprawie szczególnych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów (Dz. U. z 2006 r., Nr 58, poz. 405).
- [5] Obwieszczenie Prezesa Rady Ministrów z dnia 24 kwietnia 2006 r. o sprostowaniu błędów (Dz. U. z 2006 r., Nr 82, poz. 573).
- [6] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 lipca 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczególnych zasad bezpieczeństwa przeciwpożarowego lasów (Dz. U. z 2010 r., Nr 137, poz. 923).
- [7] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 13 lipca 2015 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie szczególnych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów (Dz. U. z 2015 r., Nr 0, poz. 1070).
- [8] *Instrukcja ochrony przeciwpożarowej lasu*, Haze M. (red.), CILP, Warszawa 2011 (Załącznik do Zarządzenia nr 54 Dyrektora Generalnego Lasów Państwowych z 21 listopada 2011 r. Obowiązujący w jednostkach lasów państwowych od 1 stycznia 2012 r.).
- [9] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz. U. z 1994 r., Nr 89, poz. 414, z późn. zm., tekst jedn. Dz. U. z 2016 r., poz. 290).
- [10] Czerniak A.(red.), Grajewski S., Kamiński B., Miler A.T., Okoński B., Leciejewski P., Trzciński G., Madaj A., Bańkowski J., Wojtkowski K., *Wytyczne prowadzenia robót drogowych w lasach*, PGL LP, OR-W LP w Bedoniu, Warszawa-Bedon 2013.
- [11] Dzikowski, J., Szarłowicz, A., Burzyński, S., Rajsman, M., Satola, J., Wiąrowski, Z., *Drogi leśne. Poradnik techniczny*, Ośrodek Rozwojowo-Wdrożeniowy Lasów Państwowych w Bedoniu, Warszawa-Bedon 2006.
- [12] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2010 r., Nr 109, poz. 719, z późn. zm.).
- [13] PN-N-01256-01:1992 Znaki bezpieczeństwa. Ochrona przeciwpożarowa.
- [14] PN-EN ISO 7010:2012 Symbole graficzne. Barwy bezpieczeństwa i znaki bezpieczeństwa. Zarejestrowane znaki bezpieczeństwa. PKN, Warszawa.
- [15] Informacja z Wydziału Ochrony Lasu Dyrekcji Generalnej Lasów Państwowych w Warszawie z 10 maja 2019 r. Dokument elektroniczny, Katedra Inżynierii Leśnej, UPP.
- [16] PN-B-02857:2017-04 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Przeciwpożarowe zbiorniki wodne. Wymagania ogólne. PKN, Warszawa 28.04.2017.
- [17] PN-B-02857:1982 Ochrona przeciwpożarowa w budownictwie. Przeciwpożarowe zbiorniki wodne. Wymagania ogólne.
- [18] Przysiecki M., Fijałkowski L., *Aby woda nie poszła w las*, „Przegląd Pożarniczy” 2013, 4, 32–34.
- [19] Zarzycki J., Łapicz M., *Ocena potencjału pododdziałów ratowniczych do gaszenia pożarów lasu*, „Logistyka” 2015, 5, 1677–1682.

- [20] PN-EN 1846-1:2000, Samochody pożarnicze. Podział i oznaczenie. PKN, Warszawa 14.06.2000.
- [21] PN-EN 1846-1:2011, *Samochody pożarnicze. Podział i oznaczenie*. PKN, Warszawa 20.10.2011.
- [22] <http://www.straz.gov.pl>, [dostęp: 2.06.2017].
- [23] Wieczorek M., *Atlas geograficzny Polski*. Wydawnictwo Szkolne PWN, Warszawa 2012.
- [24] *Raport o stanie lasów w Polsce 2017*. CILP, PGL LP, Warszawa 2018.
- [25] GUS, *Leśnictwo – Informacje i opracowania statystyczne 2011–2018 (2010–2017)*, Warszawa.
- [26] Platt C., *Problemy rachunku prawdopodobieństwa i statystyki matematycznej*, PWN, Warszawa 1977.
- [27] Józwiak J., Podgórski J., *Statystyka od podstaw*. Wyd. VI, zm. PWE, Warszawa 2006.
- [28] Czerniak A. (red.), Gornowicz R., Miler A.T., Trzciński G., Grajewski S.M., Kapuścińska J., *Wytyczne dla praktyki*. Opracowane na podstawie tematu: *Planowanie sieci dróg leśnych i składnic oraz optymalizacja (racjonalizacja) wskaźników gęstości dróg leśnych dla różnych terenów Polski*. Maszynopis, Katedra Inżynierii Leśnej UPP, Poznań 2016.
- [29] Grajewski S.M., *Wieloletnia zmienność pożarów lasu w wybranych 28 krajach Europy, Kanadzie i USA*, BiTP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. <https://doi.org/10.12845/bitp.47.3.2017.3>.
- [30] Grajewski S.M., *Effectiveness of forest fire security systems in Poland*. Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich IV/2, 2017, 1563–1576, <https://doi.org/10.14597/infraeco.2017.4.2.118>.
- [31] Trzciński G., Czerniak A., *Horizontal curve radii versus turning abilities of vehicle combinations for timber transport*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2018, II(1), 263–275, <https://doi.org/10.14597/INFRAECO.2018.2.1.017>.
- [32] Grajewski S.M., *Funkcjonalność leśnych dojazdów pożarowych względem wymogów współczesnych pojazdów ratowniczo-gaśniczych oraz aktualnie stosowanych taktyk i technologii gaszenia pożarów lasów*. Rozprawy Naukowe 511, Wyd. UP w Poznaniu, Poznań 2019.
- [33] Trzciński G., Czerniak A., *Stan techniczny dróg leśnych – potrzeby remontowe*. „Sylwan” 2017, 161 (7), 2017, 539–547.
- [34] PN-EN 1846-2+A1:2013-07 „Samochody pożarnicze. Część 2. Wymagania ogólne. Bezpieczeństwo i parametry”. PKN, Warszawa 13.12.2016.
- [35] Czerniak A. (red.), Gornowicz R., Miler A.T., Trzciński G., Grajewski S.M., Kapuścińska J., *Planowanie sieci dróg leśnych i składnic oraz optymalizacja wskaźników gęstości dróg leśnych dla różnych terenów Polski*. Usługa badawcza wykonywana na podstawie umowy nr OR-2717-19/14 (nr wewnętrzny: 49/2014/LL), zawartej w dniu 19 maja 2014 r. pomiędzy Dyrekcją Generalną Lasów Państwowych w Warszawie a Uniwersytetem Przyrodniczym w Poznaniu, UPP w Poznaniu, 2016.

SYLWESTER M. GRAJEWSKI, PH.D. – a graduate of the Faculty of Forestry at the Poznań University of Life Sciences, Assistant Professor at the Department of Forest Engineering of the Poznań University of Life Sciences. His professional interests focus on the issues of broadly defined technical elements of forest protection. In recent years, he has been particularly interested in forest road networks, including fire access roads and their adaptation to the requirements of firefighting vehicles used by fire brigades today. He has authored and co-authored over 110 publications.

PROF. ANDRZEJ CZERNIAK, D.SC. – a graduate of the Faculty of Forestry at the Poznań University of Life Sciences, head of the Department of Forest Engineering of the Poznań University of Life Sciences. His main scientific interests include shaping forest infrastructure, road and building construction, green engineering, wildlife crossings, reclamation, technical environmental protection, natural inventory, recycling of industrial waste, environmental monitoring, the environmental impact of road structures, the impact of roads on fauna. He has authored and co-authored over 180 publications, several books and monographs. Moreover, he has been awarded 5 patents, and has filed a patent application that is pending. Professor Czerniak has led research on many subjects and supervised expert reports for business-support institutions.

PAWEŁ SZÓSTAKOWSKI – a graduate of a first-cycle degree programme at the Faculty of Forestry of the Poznań University of Life Sciences. Currently, he continues studies in a second-cycle degree programme at the Department of Forest Engineering of the Poznań University of Life Sciences.

DR SYLWESTER M. GRAJEWSKI – absolwent Wydziału Leśnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, adiunkt w Katedrze Inżynierii Leśnej UP w Poznaniu. Zainteresowania zawodowe koncentrują się na problematyce szeroko pojętych technicznych elementów ochrony lasu. W ostatnich latach szczególnym zainteresowaniem obdarzył leśne sieci drogowe, w tym dojazdy pożarowe i ich dostosowanie do wymogów pojazdów gaśniczych współcześnie wykorzystywanych przez jednostki straży pożarnych. Autor i współautor ponad 110 publikacji.

DR HAB. PROF. ANDRZEJ CZERNIAK – absolwent Wydziału Leśnego Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, kierownik Katedry Inżynierii Leśnej UP w Poznaniu. Główne kierunki działalności naukowej to kształtowanie infrastruktury leśnej, budownictwo drogowe i kubaturowe, ekoinżynieria, przejścia dla zwierząt, rekultywacja, techniczna ochrona środowiska, inwentaryzacje przyrodnicze, recykling odpadów przemysłowych, monitoring środowiska, oddziaływanie obiektów inżynierskich na środowisko, wpływ dróg na faunę. Autor i współautor ponad 180 publikacji, kilku książek i monografii, 5 przyznanych patentów i współautor zgłoszenia kolejnego patentu, kierownik wielu tematów badawczych i ekspertyz dla otoczenia gospodarczego.

PAWEŁ SZÓSTAKOWSKI – absolwent studiów I stopnia na Wydziale Leśnym Uniwersytetu Przyrodniczego w Poznaniu, magistrant Katedry Inżynierii Leśnej UP w Poznaniu.

Iwona Orłowska, Ph.D.^{a)}; prof. Marek Dziubiński, D.Sc.^{a)*}

^{a)} *Łódź University of Technology, Faculty of Process and Environmental Engineering / Politechnika Łódzka, Wydział Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska*

^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: marek.dziubinski@p.lodz.pl*

The application of Greenberg's Model Modification for Estimating the Evacuation Time of People from Public Utility Buildings

Zastosowanie modyfikacji modelu Greenberga do szacowania czasu ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej

ABSTRACT

Objective: The article presents a proposition of a model for estimating people's evacuation time from public utility buildings of category ZL III (not containing rooms designed for the simultaneous presence of more than 50 people who are not their regular users, not primarily intended for use by people with limited mobility). The model is based on the analogy between the theory of road traffic and the process of people's movement during evacuation.

Design and methods: In order to develop the model, a series of trial evacuations of people from public utility category ZL III buildings of varied geometry and number of users was conducted. A comparative analysis was performed concerning the evacuation times calculated with the use of models available in literature – a critical model of evacuation time, models designed by Togawa, Melenik and Booth, Galbreath, Pauls, methodology of the British Standard, and those derived from computer simulations performed with the use of the Pathfinder software. Based on the analysis of the conducted research and model considerations, an equation for the estimation of evacuation time was proposed based on a modified Greenberg's equation derived from the road traffic theory. In the model modification, the concept of replacement length of evacuation route elements was applied, significantly slowing down people's movement velocity, and a method for calculating them was proposed.

Results: The evacuation times obtained in experimental research were compared to the model time values calculated from the models published in literature. A considerable dispersion of the achieved results was shown, ranging from –65.0% to +425.8% with respect to the evacuation times obtained experimentally. The performance of computer simulations brought evacuation times with a bias ranging from –54.4% to +26.0% with respect to the experiments conducted. Evacuation times calculated with the use of the proposed equation were in line with the experimental results with an error ranging from –12.3% to +13.8%. However, in comparison to the times obtained from additional computer simulations, representing the description of evacuation from buildings with highly varied geometry and various numbers of evacuees, the deviation of the calculated evacuation time from the proposed model was from –16.7% to +23.1%. In the vast majority of cases, the deviation of the result oscillated around $\pm 15\%$ for a wide range of buildings' geometry and the number of evacuees.

Conclusions: The proposed model makes it possible to determine with sufficient accuracy the evacuation time of people from public utility buildings of category ZL III and can serve as a reliable source of comparative information.

Keywords: experiment, evacuation, transition time, evacuation time

Type of article: original scientific article

Received: 18.03.2019; **Reviewed:** 12.04.2019; **Accepted:** 30.06.2019;

Authors' ORCID IDs: I. Orłowska – 0000-0002-7134-0542; M. Dziubiński – 0000-0002-0208-3570;

Percentage contribution: I. Orłowska – 75%; M. Dziubiński – 25%;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 88–105, <https://dx.doi.org/10.12845/sft.53.1.209.5>;

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

ABSTRAKT

Cel: Artykuł przedstawia propozycję modelu szacowania czasu ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej ZL III (niezawierających pomieszczeń zaprojektowanych do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób niebędących ich stałymi użytkownikami oraz nieprzeznaczonych w szczególności do użytku przez ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się). Zaproponowany model bazuje na analogii między teorią ruchu drogowego a procesem przemieszczania się ludzi w trakcie ewakuacji.

Projekt i metody: Przeprowadzono szereg próbnych ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej ZL III o różnej geometrii i liczbie użytkowników. Dokonano analizy porównawczej czasów ewakuacji obliczonych za pomocą dostępnych w literaturze modeli – modelu krytycznego czasu ewakuacji, Togawy, Melenika i Bootha, Galbreatha, Paulsa, metodyki British Standard oraz otrzymanych z symulacji komputerowych wykonanych za pomocą programu Pathfinder. Na podstawie analizy wykonanych badań oraz przeprowadzonych rozważań modelowych zaproponowano równanie szacowania czasu ewakuacji oparte na modyfikacji równania Greenberga wynikającego z teorii ruchu drogowego. W modyfikacji modelu zastosowano koncepcję długości zastępczej elementów dróg ewakuacyjnych znacząco spowalniających prędkość poruszania się ludzi i zaproponowano metodę ich obliczania.

Wyniki: Porównano uzyskane w badaniach eksperymentalnych czasy ewakuacji z modelowymi wartościami czasów obliczonymi z opublikowanych w literaturze modeli. Wykazano, duży rozrzut otrzymanych wyników wynoszący od –65,0% aż do +425,8% w stosunku do uzyskanych eksperymentalnie czasów ewakuacji. Wykonując symulację komputerową, uzyskano czasy ewakuacji obarczone błędem od –54,4% do +26,0% w stosunku do przeprowadzonych eksperymentów. Obliczone czasy ewakuacji za pomocą zaproponowanego równania zgadzały się z wynikami eksperymentalnymi z błędem od –12,3% do +13,8%. Natomiast w porównaniu z czasami uzyskanymi z dodatkowych symulacji komputerowych, reprezentujących opis ewakuacji z budynków o bardzo różnej geometrii i różnej liczbie ewakuujących się ludzi, odchylenie wyniku obliczanego czasu ewakuacji z zaproponowanego modelu wyniosło od –16,7% do +23,1%. W zdecydowanej większości przypadków odchylenie wyniku oscylowało w granicach około $\pm 15\%$ dla szerokiej gamy geometrii budynków oraz różnej liczby ewakuujących się osób.

Conclusions: Zaproponowany model pozwala na wyznaczenie z zadowalającą dokładnością czasu ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej ZL III i może stanowić wiarygodne źródło informacji porównawczych.

Słowa kluczowe: eksperyment, ewakuacja, czas przejścia, czas ewakuacji

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 18.03.2019; **Zrecenzowany:** 12.04.2019; **Zatwierdzony:** 30.06.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: I. Orłowska – 0000-0002-7134-0542; M. Dziubiński – 0000-0002-0208-3570;

Procentowy wkład merytoryczny: I. Orłowska – 75%; M. Dziubiński – 25%;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 88–105, <https://dx.doi.org/10.12845/sft.53.1.209.5>;

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

Introduction

The basic fire safety requirement for buildings is to provide people staying in them with evacuation options [4]. Safe evacuation from a building in case of fire is the priority fire protection measure [5]. It is described on the basis of ASET (Available Safe Evacuation Time) and RSET (Required Safe Escape Time) [6–8]. Various tools can be applied in order to determine ASET and RSET, including empirical data (obtained, e.g., on the basis of real-scale tests, laboratory tests or practice evacuations), normative data specified in fire regulations and technical standards, computational models of evacuation time, computational models of temperature increase in a room as well as an increase in fogging, and simulation software based on the aforementioned models. Literature on the subject contains a considerable number of computational models of the transition time of people during evacuation. They differ in the complexity of computations and, primarily, in the accuracy of the obtained evacuation times [1].

In order to develop a proprietary model, a number of practice evacuations were arranged from public utility buildings of category ZL III with varying geometries and number of users. A comparative analysis was performed of evacuation times

Wstęp

Podstawowym wymaganiem odnoszącym się do bezpieczeństwa pożarowego budynków jest zapewnienie przebywającym w nich ludziom możliwości ewakuacji [4]. Bezpieczna ewakuacja z obiektu w przypadku pożaru jest priorytetowym działaniem w zakresie ochrony przeciwpożarowej [5]. Opisuje się ją na podstawie dostępnego czasu bezpiecznej ewakuacji (ASET) oraz wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji (RSET) [6–8]. Do ich wyznaczenia można stosować różne narzędzia, takie jak: dane empiryczne (uzyskane np. na podstawie przeprowadzonych testów w skali rzeczywistej, badań laboratoryjnych lub ćwiczeń praktycznych – próbnej ewakuacji), dane normatywne określone w przepisach przeciwpożarowych i standardach technicznych, modele obliczeniowe czasu ewakuacji, przyrostu temperatury w pomieszczeniu i wzrostu zadymienia oraz komputerowe programy symulacyjne oparte na wspomnianych powyżej modelach. W literaturze przedmiotu znaleźć można znaczną liczbę modeli obliczeniowych czasu przejścia ewakuujących się ludzi. Różnią się one między sobą złożonością prowadzonych obliczeń oraz – przede wszystkim – dokładnością uzyskanych czasów ewakuacji [1].

W celu opracowania własnego modelu przeprowadzono szereg próbnych ewakuacji z budynków użyteczności publicznej

calculated with the models available in literature: the critical evacuation time, the Togawa, Melenik and Booth, Galbreath, Pauls models, the British Standard methodology and models obtained from computer simulations performed with the Pathfinder software [1]. The evacuation times obtained in experiments were compared with the model time values calculated on the basis of models available in literature. A high dispersion of the results was identified from –65.0% to as many as +425.8% in comparison to evacuation times obtained in experiments. In the computer simulation with a bias ranging from –54.4% to +26.0% as compared to the experiments [2].

Due to the above, a proprietary equation was proposed for estimating the transition time of evacuated people that would describe the analysed process with a higher accuracy.

The traffic theory and the movement of evacuated people

The analysis of literature on traffic theory makes it possible to draw an analogy between the description of vehicles moving in traffic and the process of people's evacuation from buildings [3]. The originator of the hydrodynamic theory, also referred to as the continuity theory, was Greenberg [3]. He suggested equation (1), which is correct if the differentiability condition of intensity q and traffic density k is satisfied.

$$q = k \cdot \bar{v}_{opt} \cdot \ln\left(\frac{k_{max}}{k}\right) \quad (1)$$

where:

$\bar{v}_{opt}$ – optimum momentary velocity of traffic;

k_{max} – traffic density in a traffic jam.

The analysis of the traffic theory bears considerable resemblance to the process of evacuating people from buildings and can be applied for this purpose for the following reasons:

- 1) in order for movement to start, an impulse must occur – in the case of vehicles this is usually a change of traffic lights, and in the case of people – a sound signal or voice message alarming of the fire;
- 2) velocity of vehicles changes depending on their density, similarly to people in motion: when their density increases, their velocity drops, and conversely, when the density of people on escape routes decreases, people move at a higher velocity;
- 3) similarly to vehicles in traffic, people move, collide with each other, pass obstacles, accelerate on straight road passages, when their density is low, and slow down, especially when changing direction;
- 4) the trajectory of vehicles and evacuees is not straightforward. In both cases it depends on people's decisions and behaviour, which are difficult to predict;

ZL III o zróżnicowanej geometrii i liczbie użytkowników. Dokonano analizy porównawczej czasów ewakuacji obliczonych za pomocą dostępnych w literaturze modeli: krytycznego czasu ewakuacji, Togawy, Melenika i Booth, Galbreatha, Paulsa, metodyki British Standard oraz modeli otrzymanych z symulacji komputerowych wykonanych za pomocą programu Pathfinder [1]. Uzyskane w eksperymentach czasy ewakuacji porównano z modelowymi wartościami czasów obliczonymi na podstawie opublikowanych w literaturze modeli. Wykazano duży rozrzut otrzymanych wyników wynoszący od –65,0% aż do +425,8% w stosunku do uzyskanych eksperymentalnie czasów ewakuacji. W symulacji komputerowej uzyskano czasy ewakuacji obciążone błędem od –54,4% do +26,0% w stosunku do przeprowadzonych eksperymentów [2].

W związku z powyższym zaproponowano własne równanie do szacowania czasu przemieszczania się ewakuujących się ludzi, które z większą dokładnością opisałoby analizowany proces.

Teoria ruchu drogowego a ruch ewakuujących się ludzi

Analiza literatury na temat teorii ruchu drogowego pozwala dostrzec analogię między opisem poruszania się pojazdów na drogach a procesem ewakuacji ludzi z budynków [3]. Prekursorem zastosowania analogii hydrodynamicznej, znanej również pod pojęciem teorii ciągłości, był Greenberg [3]. Zaproponował on równanie (1), słuszne, jeśli spełniony jest warunek różniczkowalności natężenia q (intensywności) i gęstości ruchu k pojazdów.

$$q = k \cdot \bar{v}_{opt} \cdot \ln\left(\frac{k_{max}}{k}\right) \quad (1)$$

gdzie:

$\bar{v}_{opt}$ – optymalna prędkość chwilowa ruchu pojazdów;

k_{max} – gęstość ruchu w sytuacji korka drogowego.

Analiza teorii ruchu drogowego pozwala dostrzec jej znaczące podobieństwo do opisu procesu ewakuacji ludzi z budynków, jak również możliwość zastosowania jej w tym opisie, ponieważ:

- 1) w celu rozpoczęcia ruchu nastąpić musi impuls do działania – w przypadku samochodów jest to najczęściej zmiana świateł sterujących ruchem, a w przypadku ludzi sygnał dźwiękowy lub komunikat głosowy sygnalizujący alarm pożarowy;
- 2) w zależności od gęstości pojazdów ich prędkość zmienia się, podobnie jest w przypadku przemieszczających się ludzi, gdy ich gęstość wzrasta, to prędkość maleje, i odwrotnie, gdy gęstości ludzi na drogach ewakuacyjnych maleje, to przemieszczający się ludzie z reguły przyspieszają;
- 3) tak jak pojazdy w ruchu drogowym tak ludzie wyprzedzają się, zderzają, omijają przeszkody, przyspieszają na prostych odcinkach drogi, gdy ich gęstość jest mała oraz zwalniają, zwłaszcza przy zmianie kierunku ruchu;
- 4) tor przemieszczania się pojazdów i ewakuujących się z pożaru ludzi nie jest jednoznaczny. W obu przypadkach zależy od podejmowanych przez człowieka decyzji, jego zachowania są trudne do przewidzenia;

- 5) moving vehicles and people evacuated from fire are influenced by a number of variables, such as people's behaviour, road conditions, people's decisions such as the choice of velocity, distance from other persons or obstacles, changes in road geometry, changes in direction of movement affecting velocity.

Vehicles in traffic, similar as people during evacuation, constantly interact with each other. Thus, in correspondence to the traffic theory, the state of the stream of moving people can be described with three variables:

- 1) people's movement intensity F_d – the number of people passing through a specific section of the escape route in time, number of persons/m · s;
- 2) the density of evacuees D is the number of people in an area of a specific section of the escape route, number of persons/sq. m;
- 3) average momentary velocity $\bar{V}_{opt}$ – the average velocity of people in motion, m/s.

Proposal of an equation for estimating the evacuation time of people from public utility buildings ZL III

In order to determine the evacuation time of people from a building, a model equation was derived (2), which, with an assumption that corresponds to the velocity of the evacuated person, specifies that people's evacuation time T is equal to:

$$T = \frac{\Delta x}{v \cdot \ln\left(\frac{k_{max}}{k}\right)} \quad (2)$$

where:

- T – people's evacuation time, s;
 Δx – length of escape route, m;
 v – velocity of an evacuated person, m/s;
 k_{max} – maximum density of people on the escape route, congestion, number of persons/sq. m;
 k – density of people on the escape route, number of persons/sq. m.

Equation (2), forming a basis for the proposed proprietary computational model of evacuation time, was expanded with the following elements:

- 1) the entire escape route was divided into horizontal (x) and vertical (y) sections, for which people's velocity is determined depending on their density according to table 1 [7] and equation (3):

$$V_s = k - a \cdot k \cdot D \quad (3)$$

where:

- V_s – velocity of a stream of people moving along a motion axis, m/s;
 D – density of people on the escape route's area, number of persons/sq. m;

- 5) na przemieszczające się pojazdy i ewakuujących się z pożaru ludzi wpływ ma wiele zmiennych, w tym: zachowanie się ludzi, warunki panujące na drogach, podejmowane decyzje np. dobór prędkości, odstępów od innych osób czy przeszkód, zmiany geometrii drogi, zmiany kierunku ruchu wpływające na prędkość poruszania się.

Pojazdy w ruchu drogowym, podobnie jak ludzie w trakcie ewakuacji, znajdują się w ciągłych wzajemnych interakcjach. Dlatego analogicznie do teorii ruchu drogowego, stan strumienia ruchu przemieszczających się ludzi określić można przez trzy zmienne:

- 1) intensywność przemieszczania się ludzi F_d – liczba osób przechodzących przez określony przekrój drogi ewakuacyjnej w jednostce czasu, osoby/m · s;
- 2) gęstość ewakuujących się ludzi D jest to liczba osób znajdujących się na powierzchni odcinka drogi ewakuacyjnej, osoby/m²;
- 3) średnią prędkość chwilową $\bar{V}_{opt}$ – średnia prędkość poruszających się ludzi, m/s.

Propozycja równania do szacowania czasu ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej ZL III

W celu wyznaczenia czasu ewakuacji ludzi z budynku wprowadzono równanie modelowe (2), które – przy założeniu, że odpowiada prędkości ewakuującej się osoby – określa, że czas ewakuacji ludzi T wynosi:

$$T = \frac{\Delta x}{v \cdot \ln\left(\frac{k_{max}}{k}\right)} \quad (2)$$

gdzie:

- T – czas ewakuacji ludzi, s;
 Δx – długość drogi ewakuacyjnej, m;
 v – prędkość przemieszczania się ewakuującej się osoby, m/s;
 k_{max} – maksymalna gęstość ludzi na drodze ewakuacyjnej, powstanie zatoru, osoby/m²;
 k – gęstość ludzi na drodze ewakuacyjnej, osoby/m².

Równanie (2) stanowiące bazę zaproponowanego własnego modelu obliczeniowego czasu ewakuacji rozbudowano o następujące elementy:

- 1) całą drogę ewakuacyjną podzielono na poziome x i pionowe y odcinki drogi, dla których wyznacza się prędkość przemieszczania się ludzi, zależnie od ich zagęszczenia zgodnie z tabelą 1 [7] i równaniem (3):

$$V_s = k - a \cdot k \cdot D \quad (3)$$

gdzie:

- V_s – prędkość strumienia przemieszczających się ludzi wzdłuż osi ruchu, m/s;
 D – gęstość ludzi na powierzchni drogi ewakuacyjnej, osoby/m²;

k – the coefficient of motion along the escape route, m/s;
 a – coefficient equal to 0.266 sq. m/persons.

2) the model assumption was that evacuation is carried out with an average density of all people present in a given section of the escape route. Local people's density values may in fact differ from waverage values;

3) the concept of replacement length was introduced for selected escape route sections in which the evacuation process is disrupted, which results in its extended duration. Such sections include:

- a) local escape route pinch points caused by doors or structural elements.
- b) change in direction of movement on a horizontal escape route (a turn at the corridor),
- c) change in direction of movement during people's movement along a staircase (landings).

The concept of the replacement length of the aforementioned local disruptions along the escape route are presented in figure 1.

k – współczynnik przemieszczania się po drodze ewakuacyjnej, m/s;

a – współczynnik równy 0,266, m²/osoby.

2) założono modelowo, że ewakuacja odbywa się ze średnią gęstością wszystkich ludzi znajdujących się na danym odcinku drogi ewakuacyjnej. W rzeczywistości wartości lokalnej gęstości ludzi mogą się różnić od wartości średniej;

3) wprowadzono koncepcję długości zastępczej dla wybranych elementów drogi ewakuacyjnej, na których występują zakłócenia przebiegu procesu ewakuacji powodujące jej wydłużenie.

Do takich elementów drogi ewakuacyjnej należą:

- a) lokalne zwężenia drogi ewakuacyjnej wynikające z występujących na drodze drzwi lub elementów konstrukcyjnych,
- b) zmiana kierunku ruchu na poziomej drodze ewakuacyjnej (zakręt na korytarzu),
- c) zmiana kierunku ruchu podczas przemieszczania się ludzi w obrębie klatki schodowej (spoczniki).

Koncepcję długości zastępczej wyżej wymienionych lokalnych zakłóceń na drodze ewakuacyjnej przedstawiono na rycinie 1.

Table 1. The value of constant k in equation (3) for various elements of the escape route [7]

Tabela 1. Wartość stałej k w równaniu (3) dla różnych elementów drogi ewakuacyjnej [7]

Elements of the escape route / Elementy drogi ewakuacyjnej			k
Corridor / Korytarz			1
Staircase / Klatka schodowa			0
Stage height [mm] / Wysokość stopnia [mm]	Stage depth [mm] / Głębokość stopnia [mm]		
190.5	254.0		1.0
177.8	279.4		1.08
165.1	304.8		1.16
165.1	330.2		1.23

The idea of the replacement length of an escape route elements which impedes the motion of people is to replace each such element with a simple section with a length of L_z covered by evacuees in the same time as in the actual evacuation in the presence of an impeding element.

Below is the presentation of methods of calculating the replacement length of escape route elements which cause the slowing down of the evacuation process.

Pinch point of a horizontal escape route (doors, structural pinch points of the corridor)

The elements having an impact on the total evacuation time are pinch points found along the evacuation route, e.g. doors, narrow sections caused by obstacles such as elements of interior design, structural poles, etc.

In order to determine the replacement length of a pinch point of a horizontal escape route, the performed experiments were analysed and numerous computer simulations in the Pathfinder

Ideą długości zastępczej elementu drogi ewakuacyjnej, który spowalnia przemieszczanie się ludzi, jest zastąpienie każdego z takich elementów prostym odcinkiem o długości L_z pokonywanej przez ewakuujących się ludzi w takim samym czasie, w jakim przemieszczają się w rzeczywistej ewakuacji przy obecności elementu spowalniającego.

Poniżej przedstawiono metody obliczania długości zastępczej elementów drogi ewakuacyjnej, na których występuje lokalne spowolnienie procesu ewakuacji.

Przewężenie drogi poziomej ewakuacyjnej (drzwi, przewężenia konstrukcyjne korytarza)

Elementami, które wpływają na całkowity czas ewakuacji są występujące na drodze ewakuacyjnej przewężenia np. drzwi, wąskie odcinki spowodowane przez przeszkody w postaci elementów wystroju wnętrz, słupów konstrukcyjnych itp.

W celu wyznaczenia wartości długości zastępczej przewężenia poziomej drogi ewakuacyjnej analizie poddano przeprowadzone eksperymenty oraz wykonano szereg symulacji kompute-

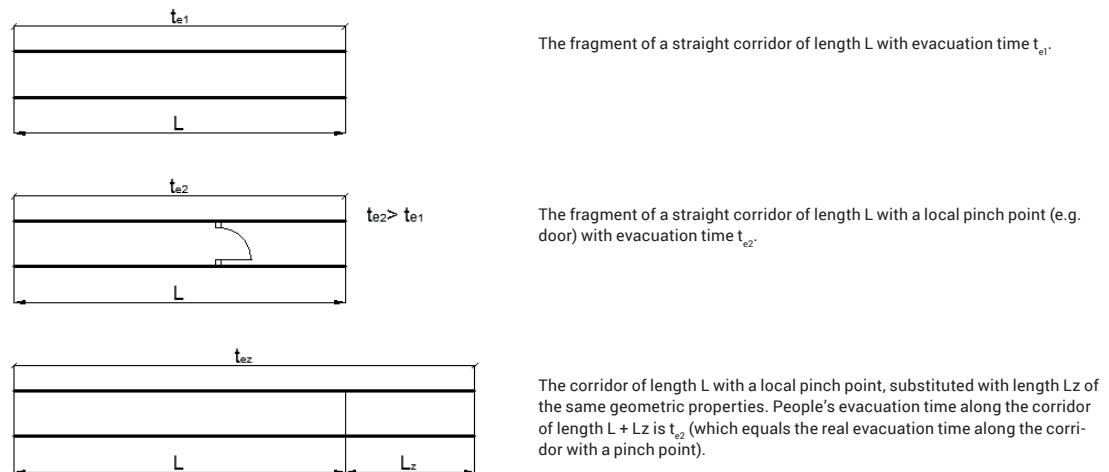


Figure 1. The Graphic Depiction of the Substitute Length Concept for the Obstructive Element impeding Human Evacuation Process

Rycina 1. Schemat koncepcji długości zastępczej elementu zakłócającego przemieszczanie ewakuujących się ludzi

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

software were carried out. After adopting certain simplifications of the studied issue, a statement was formulated that in the least favourable evacuation variant, i.e. a situation when before a local pinch point, as a result of a delay in launching evacuation, the highest accumulation of people occurs at a specific time.

In line with the assumption, the value of the replacement length of the pinch point on horizontal escape route x_o is determined with equation (4):

$$x_o = v_x \cdot \ln\left(\frac{k_{\max}}{k_x}\right) \cdot \frac{P}{F_d \cdot W} \quad (4)$$

where:

- x_o – replacement length of the pinch point on the horizontal escape route, m;
- v_x – velocity of the evacuated people along the horizontal escape route, m/s;
- $k_{\max}$ – maximum density of people on the escape route, congestion, number of persons/sq. m;
- k_x – density of people on the horizontal escape route, number of persons/sq. m;
- F_d – stream intensity, the number of evacuated people passing through a pinch point per metre of its effective width, number of persons/m · s;
- P – the number of evacuees passing through the local pinch point, number of persons;
- W – width of the local pinch point, m.

Change in direction of movement on a horizontal escape route (a turn at the corridor)

Another element with an impact on the total evacuation time are changes in the direction of movement on a horizon-

rowych w programie Pathfinder. Po założeniu pewnych uproszeń badanego zagadnienia określono, że dla najmniej korzystnego wariantu ewakuacji, to jest sytuacji, gdy przed lokalnym przewężeniem – na skutek opóźnień rozpoczęcia ewakuacji – tworzą się najliczniejsze na dany moment zgrupowania ludzi.

Zgodnie z założoną ideą wartość długości zastępczej przewężenia na poziomej drodze ewakuacyjnej x_o jest wyznaczana zgodnie z równaniem (4):

$$x_o = v_x \cdot \ln\left(\frac{k_{\max}}{k_x}\right) \cdot \frac{P}{F_d \cdot W} \quad (4)$$

gdzie:

- x_o – długość zastępcza przewężenia poziomej drogi ewakuacyjnej, m;
- v_x – prędkość ewakuujących się osób po poziomej drodze ewakuacyjnej, m/s;
- $k_{\max}$ – maksymalne zagęszczenie ludzi na drodze ewakuacyjnej, powstanie zatoru, osoby/m²;
- k_x – zagęszczenie ludzi na poziomej drodze ewakuacyjnej, osoby/m²;
- F_d – intensywność strumienia, liczba ewakuujących się osób przez przewężenie na metr efektywnej jego szerokości, osoby/m · s;
- P – liczba osób ewakuujących się przez lokalne przewężenie, osoby;
- W – szerokość lokalnego przewężenia, m.

Zmiana kierunku ruchu na poziomej drodze ewakuacyjnej (np. zakręt na korytarzu)

Kolejnym elementem mającym wpływ na całkowity czas ewakuacji są zmiany kierunku ruchu na poziomej drodze ewa-

tal escape route, i.e. corridor turns, flights of stairs where the evacuees naturally decrease their velocity, thus extending the evacuation time.

On the basis of the observations, the replacement length x_d of the route with a change in the direction of movement at the meeting point of the stairs and the horizontal escape route and at a 90 degrees turn of the escape route it was assumed that it will amount to one fourth of the circumference of a circle with a radius of half the width of corridor d_i , in line with figure 2 and equation (5).

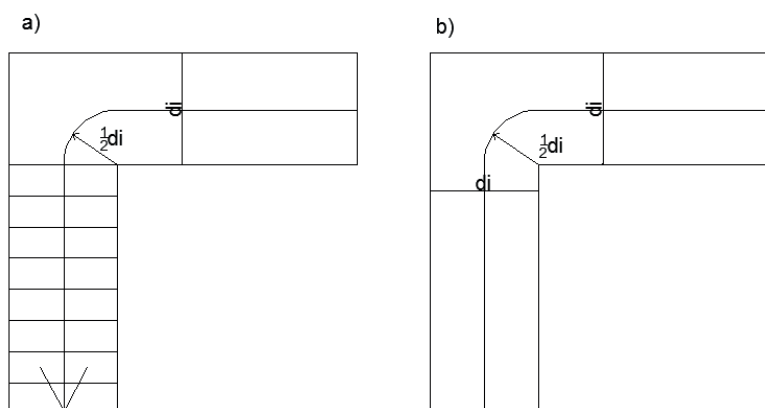


Figure 2. The picture shows: a) The change of movement direction, while switching from walking down the stairs to moving along the horizontal escape route; the analogous situation occurs when the evacuees go up the stairs. b) Change of movement direction within the corridor space
Rycina 2. Zmiana kierunku ruchu: a) przy zejściu ze schodów na poziomą drogę ewakuacyjną (analogicznie przy wejściu na schody), b) w obrębie korytarza

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

In accordance with the adopted assumption, the replacement length of the route with a change in direction on the horizontal escape route is calculated in line with the following equation (5):

$$x_d = \frac{\pi}{4} \cdot d_i \quad (5)$$

where:

x_d – replacement length of the route with a change in direction on the horizontal escape route, m;

d_i – the higher of the widths of escape routes at the confluence of which a change in the direction of movement occurs, m.

In the case of other geometry of the building, e.g. when a turn on a horizontal escape route takes the form of an arc, the replacement length of the route with such change in direction will equal the arc's length. Thus, each spatial arrangement of the analysed building should be considered separately.

Change in direction of movement during movement along a staircase (landings)

The replacement length of the route with a change in the direction of movement on horizontal escape route y_d is determined for such locations as landings, where the velocity of evacuees

kuacyjnej np. zakręty korytarzy, zejścia ze schodów, gdzie ewakuujący się ludzie podczas przemieszczania się w naturalny sposób zwalniają, a tym samym wydłużają czas ewakuacji.

Na podstawie przeprowadzonych obserwacji długość zastępczą x_d drogi przy zmianie kierunku ruchu na styku schodów i poziomej drogi ewakuacyjnej oraz na zakręcie drogi ewakuacyjnej pod kątem 90° przyjęto, że będzie ona wynosić jedną czwartą obwodu koła o promieniu połowy szerokości korytarza d_i zgodnie z ryciną 2 oraz równaniem (5).

Zgodnie z przyjętym założeniem długość zastępczą drogi przy zmianie kierunku ruchu na poziomej drodze ewakuacyjnej oblicza się zgodnie z poniższym równaniem (5):

$$x_d = \frac{\pi}{4} \cdot d_i \quad (5)$$

gdzie:

x_d – długość zastępcza drogi przy zmianie kierunku ruchu na poziomej drodze ewakuacyjnej, m;

d_i – większa z szerokości dróg ewakuacyjnych, przy których zbiegu następuje zmiana kierunku ruchu, m.

W przypadku innej geometrii budynku, np. gdy zakręt na poziomej drodze ewakuacyjnej występował będzie w postaci łuku, wartość długości zastępczej drogi przy takiej zmianie kierunku ruchu będzie równa długości łuku. Tak więc każdy układ przestrzeny analizowanego budynku należy rozpatrywać indywidualnie.

Zmiana kierunku ruchu podczas przemieszczania się w obrębie klatki schodowej (spoczniki)

Długość zastępcza drogi przy zmianie kierunku ruchu na pionowej drodze ewakuacyjnej y_d wyznacza się dla miejsc takich jak spoczniki, gdzie prędkość ewakuujących się ludzi maleje pra-

decreases almost twofold. The replacement length of the route with a change in the direction of movement on horizontal escape route y_d is half the length of the circumference of a circle with a radius of half the width of the staircase on which people move, in line with figure 3 and equation (6).

In line with the adopted principle, the replacement length of the route with a change of direction on the vertical escape route along which people move is calculated in line with the following equation (6):

$$y_d = \frac{\pi}{2} \cdot e_i \quad (6)$$

where:

y_d – replacement length of the route with a change in direction on the vertical escape route, m;

e_i – width of the i th flight of stairs, m.

wie dwukrotnie. Długość zastępcza drogi przy zmianie kierunku ruchu na pionowej drodze ewakuacyjnej y_d wynosi połowę długości obwodu koła o promieniu połowy szerokości biegu klatki schodowej, po której przemieszczają się ludzie zgodnie z ryciną 3 oraz równaniem (6).

Zgodnie z przyjętą zasadą długość zastępczą drogi przy zmianie kierunku ruchu na pionowej drodze ewakuacyjnej, po której przemieszczają się ludzie, oblicza się zgodnie z poniższym równaniem (6):

$$y_d = \frac{\pi}{2} \cdot e_i \quad (6)$$

gdzie:

y_d – długość zastępcza drogi przy zmianie kierunku ruchu na pionowej drodze ewakuacyjnej, m;

e_i – szerokość i -tego biegu schodów, m.

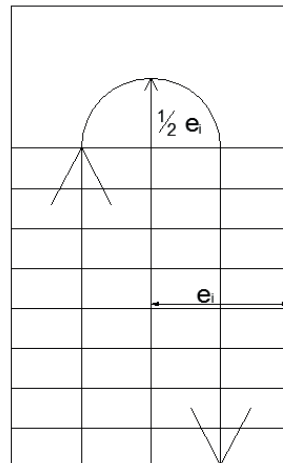


Figure 3. A typical representation of the landing of the stairs, where the evacuees progress along the circumference of a circle with the radius of half the width of flight of stairs e_i

Rycina 3. Przykładowy widok spocznika klatki schodowej: przemieszczający się ludzie idą po obwodzie koła o promieniu połowy szerokości biegu klatki schodowej e_i

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Proposal of a model equation for estimating the evacuation time of people from public utility buildings

On the basis of the performed experiments and computer simulations an assumption was made to divide the escape route into horizontal and vertical sections depending on their density. Combined spaces (rooms with access to the corridor from which another space can be accessed, such as a staircase) with a permanent number of users are regarded as a single section of a horizontal escape route with one impeding element. Fire-rated vestibules in front of staircases and halls through which escape routes lead outside the building are also considered elements of vertical escape routes.

The proposed equation for determining the evacuation time (7) is a total passage time through horizontal and vertical escape routes increased with replacement length of the route

Zaproponowane równanie modelowe szacowania czasu ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej

Na podstawie wykonanych eksperymentów i symulacji komputerowych założono, że drogę ewakuacyjną dzielimy na odcinki poziomej i pionowej dróg ewakuacyjnych w zależności od tworzącego się na nich zagęszczenia. Połączono ze sobą pomieszczenia (pomieszczenia z wyjściem na korytarz, z którego można dostać się do innego pomieszczenia – np. klatki schodowej), ze stałą liczbą użytkowników traktowane są jako jeden odcinek poziomej drogi ewakuacyjnej z jednym elementem spowalniającym. Przedśionki przeciwpożarowe przed klatkami schodowymi oraz hole, przez które prowadzi droga ewakuacyjna na zewnątrz budynku, uznaje się jako elementy pionowej drogi ewakuacyjnej.

Zaproponowane równanie na wyznaczanie czasu ewakuacji (7) to **suma czasu przejścia** poziomymi i pionowymi drogami

resulting from changing directions of movement and local obstacles found along the escape route (e.g. doors).

On the basis of the above assumptions, a general model was put forward to estimate people's evacuation time from buildings, which is a modified version of Greenberg's equation (1):

$$T = \frac{1}{v_{x_l}} \cdot \sum_{l=1}^m \frac{1}{\ln \left(\frac{k_{\max}}{k_{x_l}} \right)} \cdot \left(x_l + \sum_{i=1}^n x_{d_i} + \sum_{i=1}^f x_{o_i} \right) + \frac{1}{v_{y_l}} \cdot \sum_{l=1}^g \frac{1}{\ln \left(\frac{k_{\max}}{k_{y_l}} \right)} \cdot \left(y_l + \sum_{i=1}^h y_{d_i} + \sum_{i=1}^e x_{c_i} \right) \quad (7)$$

where:

- T – passage time of people during evacuation from the moment until exiting the building or the neighbouring fire zone, s;
- v_{x_l} – velocity of people moving along the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, m/s;
- m – the number of horizontal sections of escape routes, -;
- x_l – length of the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, m;
- $k_{\max}$ – maximum density of people on the escape route, congestion, number of persons/sq. m;
- k_{x_l} – density of people on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, number of persons / sq. m,
- n – number of movement direction changes on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, -;
- x_{d_i} – replacement length of the route with a change in direction on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$, m;
- f – number of pinch points on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, -;
- x_{o_i} – replacement length of the pinch point on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, f$, m;
- v_{y_l} – velocity of people moving along the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, m/s;
- g – the number of vertical sections of escape routes, -;
- k_{y_l} – density of people on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, m$, number of persons / sq. m,
- y_l – length of the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, m;
- h – number of movement direction changes on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, -;
- y_{d_i} – replacement length of the route with a change in direction on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, m;
- e – number of pinch points on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, -;
- x_{c_i} – replacement length of the pinch point on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, $i = 1, \dots, e$, m;

In line with literature data [9] the assumption made in the model put forward was that the density of evacuees [person/sq. m] at which the movement stops ($k_{\max}$) is 5 people per sq. m. The velocity on horizontal and vertical sections of escape routes should be calculated with equation (2).

ewakuacyjnymi powiększonymi o długości zastępcze drogi wynikające ze zmiany kierunków ruchu oraz lokalnych utrudnień występujących na drodze ewakuacji (np. drzwi).

Na podstawie powyższych założeń zaproponowano ogólny model do szacowania czasu ewakuacji ludzi z budynków, będący modyfikacją równania Greenberga (1):

gdzie:

- T – czas przejścia ludzi podczas ewakuacji od momentu rozpoczęcia ruchu do momentu wyjścia na zewnątrz budynku lub sąsiedniej strefy pożarowej, s;
- v_{x_l} – prędkość przemieszczających się osób na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, m/s;
- m – liczba poziomych odcinków dróg ewakuacyjnych, -;
- x_l – długość l -tej poziomej drogi ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, m;
- $k_{\max}$ – maksymalne zagęszczenie ludzi na drodze ewakuacyjnej, powstanie zatoru, osoby/m²;
- k_{x_l} – zagęszczenie ludzi na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, osoby/m²,
- n – liczba zmian kierunków ruchu na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, -;
- x_{d_i} – długość zastępcza drogi przy zmianie kierunku ruchu na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$, m;
- f – liczba przewężeń występujących na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, -;
- x_{o_i} – długość zastępcza przewężenia na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, f$, m;
- v_{y_l} – prędkość przemieszczających się osób na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, m/s;
- g – liczba pionowych odcinków dróg ewakuacyjnych, -;
- k_{y_l} – zagęszczenie ludzi na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, osoby/m²;
- y_l – długość l -tej pionowej drogi ewakuacyjnych, $l = 1, \dots, g$, m;
- h – liczba zmian kierunków ruchu na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, -;
- y_{d_i} – długość zastępcza drogi przy zmianie kierunku ruchu na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, m;
- e – liczba przewężeń występujących na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, -;
- x_{c_i} – długość zastępcza przewężenia na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, $i = 1, \dots, e$, m;

Zgodnie z danymi literaturowymi [9] w zaproponowanym modelu przyjęto, że gęstość ewakuujących się ludzi [osoba/m²], przy której następuje zatrzymanie ruchu $k_{\max}$ wynosi 5 osób/m². Prędkość na poziomych i pionowych odcinkach dróg ewakuacyjnych należy wyznaczyć zgodnie z równaniem (2).

Comparison of the evacuation times obtained with the proposed model equation with times of experimental evacuations and computer simulations

In order to verify the accuracy of estimation of the evacuation time of people from public utility buildings with the model put forward, the evacuation times derived from the model were compared with experimental times obtained from tests performed during the evacuation of the following buildings: the Industrial Chemistry Research Institute in Warsaw, TVP (Polish Television) in Łódź, Marshal's Office in Łódź, the District Fire Department Headquarters in Pabianice and independent evacuation carried out in one of Wrocław's high-rise buildings (with results presented in table 2 with determining deviation from the performed practice evacuations [2], [10].

Porównanie otrzymanych czasów ewakuacji za pomocą zaproponowanego modelowego równania z czasami przeprowadzonych eksperymentalnie ewakuacji oraz symulacjami komputerowymi

W celu sprawdzenia poprawności szacowania czasu ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej przy zastosowaniu zaproponowanego modelu, otrzymane za jego pomocą czasy ewakuacji porównano z czasami eksperymentalnymi, uzyskanymi podczas badań przeprowadzonych podczas ewakuacji z budynków: Instytutu Chemii Przemysłowej w Warszawie, TVP w Łodzi, Urzędu Marszałkowskiego w Łodzi, Komendy Powiatowej PSP w Pabianicach i niezależnej ewakuacji przeprowadzonej w jednym z wrocławskich budynków wysokościowych (co przedstawiono w tabeli 2 wraz z określeniem wielkości odchylenia wyniku w stosunku do przeprowadzonych prób ewakuacji) [2], [10].

Table 2. The juxtaposition of results obtained during real-life evacuation testing and the results obtained theoretically

Tabela 2. Zestawienie czasów uzyskanych podczas badań z czasami ewakuacji obliczonymi za pomocą zaproponowanego równania

Location of the experiment Miejsce eksperymentu	Evacuation time Czas ewakuacji – eksperymenty	Evacuation time calculated from the proposed equation (7) Czas ewakuacji obliczony z zaproponowanego równania (7)	
		Evacuation time [s] Czas ewakuacji [s]	Time value discrepancy [%] Odchylenie wyniku [%]
Industrial Chemistry in Warsaw (experiment 1) Instytut Chemii Przemysłowej (eksperyment 1)	67.0	62.8	–6.2
Industrial Chemistry in Warsaw (experiment 2) Instytut Chemii Przemysłowej (eksperyment 2)	61.0	68.1	+11.7
Industrial Chemistry in Warsaw (experiment 3) Instytut Chemii Przemysłowej (eksperyment 3)	60.0	85.8	+42.6
Industrial Chemistry in Warsaw (experiment 4) Instytut Chemii Przemysłowej (eksperyment 4)	51.0	94.0	+84.4
Public Television Building in Lodz Budynek TVP w Łodzi	292.0	446.5	+52.9
The Marshall's Office Building in Lodz Urząd Marszałkowski w Łodzi	434.0	279.1	–35.7
The District Fire Department Headquarters in Pabianice KP PSP Pabianice	41.5	26.8	–35.4
Wrocław's tower Budynek wysokościowy we Wrocławiu	1260	882.5	–30.0

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Analysing the results of computations presented in table 2, it must be concluded that despite many simplifying assumptions made in the proposed model arising from the complexity of the evacuation process, the accuracy of the description of experimental data achieved with the model put forward is satisfactory. The largest computational errors of the proposed model concerned cases in which the density of evacuees was very low,

Analizując wyniki obliczeń przedstawione w tabeli 2, należy stwierdzić, że mimo poczynionych w zaproponowanym modelu wielu założeń upraszczających, wynikających ze złożoności procesu ewakuacji ludzi, dokładność opisu danych doświadczalnych za pomocą zaproponowanego modelu jest zadowalająca. Największe błędy obliczeniowe zaproponowanego modelu dotyczyły przypadków, w których gęstość ewakuujących się ludzi była

below 0.2 person per sq. m on a vertical escape route. A similar situation was observed for a high density of people above 2.5 person per sq. m. The highest bias of as many as +84.4% was observed during the experiment in which the initial density of evacuees was 4 persons per sq. m. Such a large bias results from using the original form of Greenberg's model, which was the basis for the proposed model for the evacuation of people which makes use of the analogy method. In that model, the velocity of evacuees depends on their density. Thus, the general principle was confirmed that even for the original Greenberg's model [3] the highest bias in the description of vehicles' motion occurs with the highest and lowest traffic densities.

In addition, there is a major controversy in the literature regarding velocity values of people moving along horizontal and vertical escape routes for the highest and lowest densities of evacuees, which has an impact on the accuracy of the computed evacuation time models.

In order to improve the accuracy of calculations of evacuation time obtained from the proposed model with a number of simplifying assumptions as compared to the actual stochastic evacuation process, adjustment coefficient A was introduced. Thus, the modified form of the model takes the form of equation (8):

$$T = \frac{1}{v_{x_l}} \cdot \sum_{l=1}^m \frac{1}{\ln \left(\frac{k_{\max}}{k_{x_l}} \right)} \cdot \left(A \cdot x_l + A \cdot \sum_{i=1}^n x_{d_i} + \sum_{i=1}^f x_{o_i} \right) + \frac{1}{v_{y_l}} \cdot \sum_{l=1}^g \frac{1}{\ln \left(\frac{k_{\max}}{k_{y_l}} \right)} \cdot \left(A \cdot y_l + A \cdot \sum_{i=1}^h y_{d_i} + \sum_{i=1}^e x_{c_i} \right) \quad (8)$$

where:

- T – passage time of people during evacuation from the moment until exiting the building or the neighbouring fire zone, s;
- v_{x_l} – velocity of people moving along the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, m/s;
- m – the number of horizontal sections of escape routes, -;
- A – adjustment coefficient, -;
- x_l – length of the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, m;
- $k_{\max}$ – maximum density of people on the escape route, congestion, number of persons/sq. m;
- k_{x_l} – density of people on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, number of persons / sq. m;
- n – number of movement direction changes on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, -;
- x_{o_i} – replacement length of the route with a change in direction on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$, m;
- f – number of pinch points on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, -;
- x_{o_i} – replacement length of the pinch point on the l th horizontal escape route, $l = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, f$, m;
- v_{y_l} – velocity of people moving along the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, m/s;
- g – the number of vertical sections of escape routes, -;

bardzo mała i wynosiła poniżej 0,2 osoby/m² na pionowej drodze ewakuacyjnej. Podobna sytuacja miała miejsce w przypadku dużego zagęszczenia ludzi wynoszącego powyżej 2,5 osoby/m². Największy błąd – aż +84,4 % – uzyskano podczas eksperymentu, w którym początkowa gęstość ewakuujących się ludzi wynosiła 4 osoby/m². Tak duży błąd wynika oczywiście z zastosowania oryginalnej postaci oryginalnego modelu Greenberga, który był podstawą do opracowania zaproponowanego modelu ewakuacji ludzi wykorzystującego metodę analogii. W modelu tym prędkość ewakuujących się ludzi jest uzależniona od ich gęstości. Potwierdzona została więc ogólna zasada, która mówi, że nawet dla oryginalnego modelu Greenberga [3] największy błąd opisu przemieszczania się pojazdów występuje dla ich największych i najmniejszych gęstości na drodze.

Dodatkowo duże kontrowersje w literaturze budzą wartości prędkości przemieszczających się ludzi po poziomych i pionowych drogach ewakuacyjnych dla największych i najmniejszych gęstości ewakuujących się osób, co ma wpływ na dokładność obliczanych modelowych czasów ewakuacji.

W celu poprawy dokładności obliczeń czasu ewakuacji otrzymanych z zaproponowanego modelu zakładającego wiele założeń upraszczających w stosunku do rzeczywistego, stochastycznego procesu ewakuacji wprowadzono współczynnik korekcyjny A . Zmodyfikowana postać modelu przyjmuje ma więc postać równania (8):

gdzie:

- T – czas przejścia ludzi podczas ewakuacji od momentu rozpoczęcia ruchu do momentu wyjścia na zewnątrz budynku lub sąsiedniej strefy pożarowej, s;
- v_{x_l} – prędkość przemieszczających się osób na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, m/s;
- m – liczba poziomych odcinków dróg ewakuacyjnych, -;
- A – współczynnik korekcyjny, -;
- x_l – długość l -tej poziomej drogi ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, m;
- $k_{\max}$ – maksymalne zagęszczenie ludzi na drodze ewakuacyjnej, powstanie zatoru, osoby/m²;
- k_{x_l} – zagęszczenie ludzi na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$ osoby/m²;
- n – liczba zmian kierunków ruchu na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, -;
- x_{o_i} – długość zastępcza drogi przy zmianie kierunku ruchu na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, n$, m;
- f – liczba przewężeń występujących na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, -;
- x_{o_i} – długość zastępcza przewężenia na l -tej poziomej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$, $i = 1, \dots, f$, m;
- v_{y_l} – prędkość przemieszczających się osób na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, m/s;
- g – liczba pionowych odcinków dróg ewakuacyjnych, -;

k_{y_l} – density of people on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, m$, number of persons / sq. m;
 y_l – length of the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, m;
 h – number of movement direction changes on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, -;
 y_{d_i} – replacement length of the route with a change in direction on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, m;
 e – number of pinch points on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, -;
 x_{c_i} – replacement length of the pinch point on the l th vertical escape route, $l = 1, \dots, g$, $i = 1, \dots, e$, m.

Adjustment coefficient A , as a result of the analysis of experimental data, assumed the following values for a horizontal escape route:

$$\begin{aligned} \text{for } 0.3 \leq k_{x_i} < 0.8 \quad A &= 1.7; \\ \text{for } 0.8 \leq k_{x_i} < 2.5 \quad A &= 1.2; \\ \text{for } 2.5 \leq k_{x_i} < 3.2 \quad A &= 0.4. \end{aligned} \quad (8a)$$

Adjustment coefficient A , as a result of the analysis of experimental data, assumed the following values for a vertical escape route:

$$\begin{aligned} \text{for } 0.3 \leq k_{y_i} < 0.8 \quad A &= 1.7; \\ \text{for } 0.8 \leq k_{y_i} < 1 \quad A &= 1.2; \\ \text{for } 1 \leq k_{y_i} < 2.2 \quad A &= 0.7; \\ \text{for } 2.2 \leq k_{y_i} < 3.2 \quad A &= 0.4. \end{aligned} \quad (8b)$$

k_{y_l} – zagęszczenie ludzi na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, m$ osoby/m²;
 y_l – długość l -tej pionowej drogi ewakuacyjnych, $l = 1, \dots, g$, m;
 h – liczba zmian kierunków ruchu na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, -;
 y_{d_i} – długość zastępcza drogi przy zmianie kierunku ruchu na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, m;
 e – liczba przewężeń występujących na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, -;
 x_{c_i} – długość zastępcza przewężenia na l -tej pionowej drodze ewakuacyjnej, $l = 1, \dots, g$, $i = 1, \dots, e$, m.

Współczynnik korekcyjny A w wyniku analizy danych doświadczalnych przyjmuje następujące wartości dla poziomej drogi ewakuacyjnej:

$$\begin{aligned} \text{dla } 0,3 \leq k_{x_i} < 0,8 \quad \text{wartość } A &= 1,7; \\ \text{dla } 0,8 \leq k_{x_i} < 2,5 \quad \text{wartość } A &= 1,2; \\ \text{dla } 2,5 \leq k_{x_i} < 3,2 \quad \text{wartość } A &= 0,4. \end{aligned} \quad (8a)$$

Współczynnik korekcyjny A w wyniku analizy danych doświadczalnych przyjmuje następujące wartości dla pionowej drogi ewakuacyjnej:

$$\begin{aligned} \text{dla } 0,3 \leq k_{y_i} < 0,8 \quad \text{wartość } A &= 1,7; \\ \text{dla } 0,8 \leq k_{y_i} < 1 \quad \text{wartość } A &= 1,2; \\ \text{dla } 1 \leq k_{y_i} < 2,2 \quad \text{wartość } A &= 0,7; \\ \text{dla } 2,2 \leq k_{y_i} < 3,2 \quad \text{wartość } A &= 0,4. \end{aligned} \quad (8b)$$

Table 3. The juxtaposition of results obtained during real-life evacuation testing and the results obtained theoretically

Tabela 3. Zestawienie czasów uzyskanych podczas badań z czasami ewakuacji obliczonymi za pomocą zaproponowanego równania

Location of the experiment Miejsce eksperymentu	Evacuation time experiments [s] Czas ewakuacji – eksperymenty [s]	Equation use estimate of evacuation time (8) Czas ewakuacji obliczony z zaproponowanego równania (8)	
		Evacuation time [s] Czas ewakuacji [s]	Time value discrepancy [%] Odchylenie wyniku [%]
Industrial Chemistry in Warsaw (experiment 1) Instytut Chemii Przemysłowej (eksperyment 1)	67.0	72.0	+7.5
Industrial Chemistry in Warsaw (experiment 2) Instytut Chemii Przemysłowej (eksperyment 2)	61.0	63.0	+3.3
Industrial Chemistry in Warsaw (experiment 3) Instytut Chemii Przemysłowej (eksperyment 3)	60.0	64.9	+8.2
Industrial Chemistry in Warsaw (experiment 4) Instytut Chemii Przemysłowej (eksperyment 4)	51.0	55.3	+8.4
Public Television Building in Lodz Budynek TVP w Łodzi	292.0	320.3	+9.7
The Marshall's Office Building in Lodz Urząd Marszałkowski w Łodzi	434.0	380.6	12.3
The District Fire Department Headquarters in Pabianice KP PSP Pabianice	41.5	47.2	+13.8
Wroclaw's tower Budynek wysokościowy we Wrocławiu	1260	1114.8	11.5

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The model can be applied for a density of people on escape routes from 0.3 to 3.2 persons per sq. m. The value results from literature data [7] and proprietary experimental data. This range covers a considerable majority of real evacuations of people from buildings. After the inclusion of the adjustment coefficient A values mentioned above in the proposed model (8), table 3 contains a comparison of experimental times and those calculated on the basis of the modified model.

The analysis of the results included in table 3 makes it possible to state that the evacuation times calculated from the modified model put forward (8) are subject to a bias ranging from -12.3% to $+13.8\%$ as compared to the experimental times. This forms a basis for a conclusion that the proposed equation (8) for calculating evacuation times of people from buildings gives very similar results to those obtained in real experiments carried out for the purposes of this study. The comparisons confirmed that equation (8) is suitable for calculating evacuation times for building with varying geometries and number of users. Most importantly, also in comparison with an independent research performed in one of high-rise public utility and residential buildings (evacuation of 286 people from storey +49 and 50), the deviation of the evacuation time computed from the model was subject to a -11.5% bias. In most cases the obtained evacuation times are slightly overestimated, which is favourable from the fire protection perspective.

Equation (8) also provides a good description of experimental data even in cases very rarely occurring in practice, when the density of evacuees is very low, below 0.3 person per sq. on horizontal escape routes and 0.2 person per sq. m. on vertical routes. In such case the value of adjustment coefficient A is 5. However, in very rare cases of a very high density of evacuated people higher than 3 persons per sq. m on a horizontal escape route, adjustment coefficient A is 0.3, and for a vertical escape route with a density exceeding 3.2 persons per sq. m it amounts 0.1. However, this was confirmed for few experimental data. Thus, the model proposed in the study was confirmed for numerous evacuation situations for densities of evacuees from 0.3 to 3.2 persons per sq. m.

Based to the above, it can be assumed that equation (8) is a universal tool possible to be applied for determining evacuation times of people from various ZL III public utility buildings with satisfactory accuracy.

For the additional verification of the proposed model equation (8) as suitable for determining the evacuation time of people, a series of computer simulations was carried out with the Pathfinder software applying the variable-control model. Computer simulations were performed for 20 various geometries of public utility buildings with varying height from 3 to 27.3 m. The buildings had a varying arrangement of escape routes and rooms, and obstacles on escape routes, such as doors or local pinch points. They differed in the length and width of escape routes and the number of users. For each building model an evacuation simulation was prepared in three variants, providing a total of 60 computer simulations. In the first variant of the simulation, e.g. simulation No. 1, an assumption was made that in each office room there is 1 persons, in the second

Model stosować można w przypadku występowania zagęszczenia ludzi na drogach ewakuacyjnych od 0,3 do 3,2 osoby/m². Wartość ta wynika z danych literaturowych [7] oraz własnych danych doświadczalnych. Zakres taki obejmuje zdecydowaną większość rzeczywistych ewakuacji ludzi z budynków. Po uwzględnieniu w zaproponowanym modelu (8) wymienionych wyżej wartości współczynnika korekcyjnego A , w tabeli 3 przedstawiono porównanie czasów eksperymentalnych oraz tych obliczonych ze zmodyfikowanego modelu.

Analiza wyników zawartych w tabeli 3 pozwala stwierdzić, że obliczone czasy ewakuacji z zaproponowanego zmodyfikowanego modelu (8) obciążone są błędem wynoszącym od $-12,3\%$ do $+13,8\%$ w stosunku do czasów eksperymentalnych. Można na tej podstawie stwierdzić, że zaproponowane równanie (8) do obliczania czasu ewakuacji ludzi z budynków daje wyniki bardzo zbliżone do tych uzyskanych w drodze eksperymentów w ramach niniejszej pracy. Porównania potwierdziły, że wzór (8) pozwala na obliczanie czasów ewakuacji dla budynków o bardzo różnej geometrii oraz liczbie użytkowników. Co ważniejsze, także w stosunku do niezależnego badania przeprowadzonego przez badaczy w jednym z wysokościowych budynków o funkcji użyteczności publicznej i mieszkalnej (ewakuacja 286 osób z kondygnacji +49 i +50), odchylenie obliczonego z modelu czasu ewakuacji obciążone było błędem $-11,5\%$. W większości przypadków otrzymane czasy ewakuacji są nieznacznie przeszacowane, co z punktu widzenia ochrony przeciwpożarowej jest zjawiskiem korzystnym.

Równanie (8) daje również dobry opis danych doświadczalnych nawet w bardzo rzadko występującym w praktyce przypadku, gdy gęstość ewakuujących się ludzi jest bardzo mała, poniżej 0,3 osoby/m² na poziomych drogach ewakuacyjnych oraz 0,2 osoby/m² dla dróg pionowych. W takim przypadku wartość współczynnika korekcyjnego A wynosi $A = 5$. Natomiast w bardzo rzadkich przypadkach bardzo dużego zagęszczenia ewakuujących się ludzi – przekraczającego 3 osoby/m² na poziomej drodze ewakuacyjnej – współczynnik korekcyjny wynosi $A = 0,3$, a dla pionowej drogi ewakuacyjnej przy gęstości ludzi powyżej 3,2 osoby/m² równa się 0,1. Zostało to jednak potwierdzone dla nielicznych danych doświadczalnych. W związku z czym zaproponowany w pracy model został potwierdzony dla bardzo wielu przypadków ewakuacji w zakresie gęstości ewakuujących się ludzi od 0,3 do 3,2 osoby/m².

W związku z powyższym można przyjąć, że równanie (8) jest narzędziem uniwersalnym i możliwym do stosowania do wyznaczania czasów ewakuacji ludzi z różnych budynków użyteczności publicznej ZL III z zadawalającą dokładnością.

W celu dodatkowej weryfikacji zaproponowanego równania modelowego (8) do wyznaczania czasu ewakuacji ludzi przeprowadzono szereg symulacji komputerowych ewakuacji za pomocą programu Pathfinder wykorzystującego model zmienno-sterujący. Symulacje komputerowe wykonano dla 20 różnych geometrii budynków użyteczności publicznej, o różnej wysokości od 3 do 27,3 m. Budynki posiadały różny układ dróg ewakuacyjnych, rozkład pomieszczeń, zakłóceń występujących na drogach ewakuacyjnych w postaci drzwi lub lokalnych przewężień. Różniły się między sobą długością i szerokością dróg ewakuacyjnych oraz liczbą użytkowników. Dla każdego zbudowanego modelu budynku wykonano symulację ewakuacji w trzech wariantach, co w sumie daje 60 symulacji

variant there were 3 people, and in the third – 6 people. The described arrangement of building users made it possible to achieve various densities of people on horizontal and vertical escape routes. Figure 4 presents an example of a model made with the Pathfinder software for the simulation identified in table 4 (number 38).

Table 4 contains a list of evacuation times obtained with the Pathfinder software and with the proposed model equation for estimating evacuation times (8) arrived at by modifying Greenberg's model and determining deviations of the results from the ones from computer simulations.

komputerowych. W pierwszym wariantcie symulacji np. symulacji nr 1 założono, że w każdym pomieszczeniu biurowym znajduje się po 1 osobie, w drugim wariantcie symulacji po 3 osoby, a w trzecim po 6 osób. Taki rozkład użytkowników budynku pozwolił na otrzymanie różnej gęstości ludzi na poziomych i pionowych drogach ewakuacyjnych. Na rycinie 4 przedstawiono przykładowy model wykonany za pomocą programu Pathfinder dla symulacji wskazanej w tabeli 4 odpowiadającej numerowi 38.

W tabeli 4 przedstawiono zestawienie czasów ewakuacji otrzymanych za pomocą programu Pathfinder oraz czasów ewakuacji otrzymanych za pomocą zaproponowanego w pracy równania modelowego szacowania czasu ewakuacji (8), uzyskanego przy zastosowaniu modyfikacji modelu Greenberga wraz z określeniem wielkości odchyień wyników w stosunku do czasu uzyskanego z przeprowadzonych symulacji komputerowych.

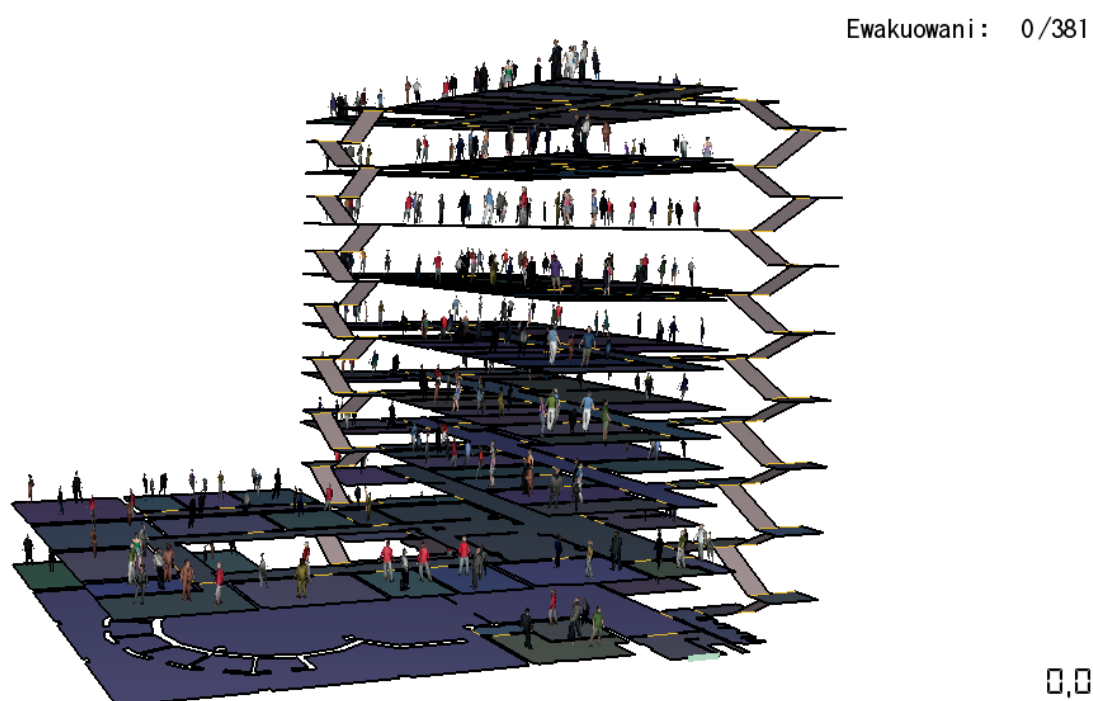


Figure 3. The commencement of the No. 38 computer simulation, in which it was assumed that there were 3 people occupying each office room

Rycina 3. Rozpoczęcie symulacji komputerowej nr 38, założono występowanie 3 osób w każdym pomieszczeniu biurowym

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Summary

The experimental part included the analysis of the performed tests consisting in practice evacuations of people from buildings. The tests participants were users of public utility buildings assigned to human hazard category ZL III, their employees and customers. These were people aged 20–65, of both genders, which makes the obtained results reliable and accurately reflecting actual evacuation conditions [8].

Podsumowanie

W części doświadczalnej poddano analizie przeprowadzone badania polegające na obserwacji próbnych ewakuacji ludzi z budynków. W badaniach brały udział osoby będące użytkownikami obiektów użyteczności publicznej, kwalifikowanych do kategorii zagrożenia ludzi ZL III, ich pracownicy i petenci. Były to osoby w wieku od 20 do 65 lat, różnej płci, co czyni uzyskane wyniki wiarygodnymi, dobrze reprezentującymi rzeczywiste warunki ewakuacji [8].

Table 4. The juxtaposition of time values obtained from computer simulations and the estimates of evacuees' movement time established with the proposed model equation (8)

Tabela 4. Zestawienie czasów uzyskanych podczas symulacji komputerowych z czasami przemieszczania się ewakuujących się osób obliczonymi za pomocą zaproponowanego modelowego równania (8)

Simulation number Numer symulacji	Simulation time [s] Czas symulacji [s]	Equation use estimate of evacuation time (8) Czas ewakuacji obliczony z zaproponowanego równania (8)	
		Evacuation time [s] / Czas ewakuacji [s]	Deviation [%] / Odchylenie wyniku [%]
1	30.1	27.3	-9.2
2	31.1	33.0	+9.5
3	38.5	38.4	-0.1
4	26.2	25.6	-2.3
5	38.9	40.9	+5.0
6	44.5	53.6	+20.5
7	73.4	72	-1.9
8	94.3	100.8	+6.9
9	137.7	141.8	+3.0
10	78.0	85.9	+10.2
11	154.3	158.2	+2.5
12	315.3	349.7	+10.9
13	33.5	30.4	-9.3
14	40.5	45.8	+13.1
15	49.3	57.3	+16.3
16	55.4	65.9	+18.9
17	95.7	118.6	+12.2
18	123.4	137.1	+11.1
19	65.5	67.5	+3.1
20	126.9	119.9	-5.5
21	176.9	201.1	+13,7
22	77.0	79.0	+2.6
23	154.0	137.1	-11.0
24	233.0	286.6	+23.1
25	88.3	91.4	+3,5
26	193.5	175.0	-9.6
27	294.3	342.1	+16.2
28	95.3	109.5	+14.9
29	223.2	195.5	-12.4
30	341.6	403.4	+18.1
31	105.9	121.7	+15.0
32	253.0	216.0	-14.6
33	408.1	430.0	+5.4
34	118.9	134.0	+12.7

Simulation number Numer symulacji	Simulation time [s] Czas symulacji [s]	Equation use estimate of evacuation time (8) Czas ewakuacji obliczony z zaproponowanego równania (8)	
		Evacuation time [s] / Czas ewakuacji [s]	Deviation [%] / Odchylenie wyniku [%]
35	286.1	238.3	–16.7
36	478.8	459.4	–4.1
37	132.5	146.2	+10.4
38	328.8	257.3	–15.4
39	518.5	490.5	–5.4
40	20.7	19.4	–6.1
41	25.5	29.1	+14.1
42	34.2	41.3	+20.9
43	52.1	61.3	+17.6
44	66.7	59.3	–11.0
45	95.5	102.4	+7.3
46	61.0	61.4	+0.6
47	92.2	91.7	–0.6
48	140.7	146.1	+3.8
49	74.0	71.9	–2.9
50	115.7	129.3	+11.8
51	191.5	204.2	+6.6
52	87.0	86.9	–0.1
53	144.4	160.6	+11.2
54	245.2	242.7	–1.0
55	99.6	102.2	+2.7
56	168.7	169.2	+0.3
57	293.8	303.0	+3.1
58	112.0	115.9	+3.5
59	197.6	196.8	–0.4
60	348.1	361.2	+3.8

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Based on the analogy between road traffic and people moving during the evacuation process, the use of a modified Greenberg's model was suggested [equation (8)], as a simple tool for estimating people's evacuation times in public utility buildings of category ZL III. It takes into account varying velocities of people moving along vertical and horizontal escape routes, a tendency to slow down when the direction of movement changes, and the impact of obstacles found on escape routes on evacuation time.

The evacuation times calculated with the proposed equation (8) were in line with experimental results with a bias from

Wykorzystując analogię pomiędzy teorią ruchu drogowego pojazdów a przemieszczającymi się ludźmi w trakcie ewakuacji, zaproponowano zastosowanie modyfikacji modelu Greenberga – równania (8) jako prostego narzędzia do szacowania czasu ewakuacji ludzi w budynkach użyteczności publicznej ZL III. Uwzględnia ono różnicowanie prędkości przemieszczających się ludzi po pionowych i poziomych drogach ewakuacyjnych, tendencję do zwalniania przy zmianie kierunku ruchu, a także wpływ utrudnień występujących na drogach ewakuacyjnych na czas ewakuacji.

Obliczone czasy ewakuacji za pomocą zaproponowanego równania (8) zgadzały się z wynikami eksperymentalnymi

–12.3% to +13.8% (see table 2). However, in comparison with times obtained in additional computer simulations representing evacuation from buildings with varying geometries and number of evacuees (see table 3), deviation of the evacuation time calculated from the proposed model was from –16.7% to +23.1%. In a considerable majority of cases the result's deviation was around $\pm 15\%$ for a broad range of building geometries and various numbers of evacuees.

The authors' experiments on the basis of which the suitability of the proposed model for estimating people's evacuation time from public utility buildings was verified confirm its universality. It can be applied to determine the duration of single-stage evacuation of the whole building as well as multi-stage evacuation (of the respective storeys) in buildings in which the density of people on the evacuation path is lower than 3.2 persons per sq. m.

Taking into consideration the diversity of selected research objects and the stochastic nature of evacuation, it is possible to state that the evacuation times determined with the proposed model equation (8) which contains a number of simplifications reflect in a satisfactory manner actual evacuation times specified for buildings with varying geometries, and numbers of users varying in terms of age, gender and physical abilities.

z błędem od –12,3% do +13,8% (patrz tabela 2). Natomiast w porównaniu z czasami uzyskanymi z dodatkowych symulacji komputerowych, reprezentujących opis ewakuacji z budynków o bardzo różnej geometrii i różnej liczbie ewakuujących się ludzi (patrz tabela 3), odchylenie wyniku obliczanego czasu ewakuacji z zaproponowanego modelu wyniosło od –16,7% do +23,1%. W zdecydowanej większości przypadków odchylenie wyniku oscylowało w granicach około $\pm 15\%$ dla szerokiej gamy geometrii budynków oraz różnej liczby ewakuujących się osób.

Przeprowadzone własne eksperymenty, w oparciu o które zweryfikowano przydatność zaproponowanego modelu do szacowania czasu ewakuacji ludzi z budynków użyteczności publicznej, potwierdzają jego uniwersalność. Można go zastosować do wyznaczania czasu ewakuacji jednoetapowej – całego budynku, jak również w przypadku ewakuacji etapowej (poszczególnych kondygnacji) w obiektach, w których zagęszczenie ludzi na drodze ewakuacyjnej jest mniejsze od 3,2 osoby/m².

Mając na uwadze różnorodność wybranych obiektów badawczych oraz stochastyczny charakter ewakuacji, można uznać, że otrzymane czasy ewakuacji wyznaczone za pomocą zaproponowanego modelowego równania (8) zawierającego wiele uproszczeń – w zadowalający sposób odzwierciedlają rzeczywiste czasy ewakuacji określone dla budynków o zróżnicowanej geometrii, liczbie i różnorodności co do wieku, płci, sprawności fizycznej użytkowników.

Literature / Literatura

- [1] Cłapa I., Porowski R., Dziubiński M., *Wybrane modele obliczeniowe czasów ewakuacji*, BiTP Vol. Issue 4, 2011, pp. 71–79.
- [2] Orłowska I., Dziubiński M., *Porównanie modelowych czasów ewakuacji z przeprowadzonymi eksperymentami*, BiTP Vol. 50, Issue 2, 2018, pp. 108–119, <https://doi.org/10.12845/bitp.50.2.2018.8>.
- [3] Datka S., Suchorzewski W., Tracz M., *Inżynieria ruchu*, WKiŁ, Warszawa 1989.
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz. U. z 2015 r. poz. 1422 ze zm.).
- [5] *Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż to określono w przepisach techniczno-budowlanych, w przypadkach wskazanych w tych przepisach, oraz stosowania rozwiązań zamiennych*, Komenda Główna PSP, Warszawa 2008.
- [6] Małolepszy R., *Wymagany i dostępny czas bezpiecznej ewakuacji – metodyka obliczania, Materiały konferencyjne: Ochrona przeciwpożarowa*, Zakopane 2010.
- [7] BS 7974:2001 – załącznik PD 7974-6:2004, The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6. Human factors: Life safety strategies – Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).
- [8] Gwynne S.M.V., Purser D., Boswell D.L., *Pre-warning staff delay: A forgotten Component in ASET/RSET calculations*, in: *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, Springer, London 2010, 243–253.
- [9] Cote A.E., *Fire Protection Handbook*, National Fire Protection Association, 2003.
- [10] Paliszek-Saładyna J., Smardz P., *Weryfikacja koncepcji bezpieczeństwa pożarowego budynku wysokościowego – połączona próba dymowa i ewakuacyjna*, Materiały konferencyjne: Ochrona przeciwpożarowa, Zakopane 2016.

IWONA ORŁOWSKA, PH.D. ENG. – she graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service in Warsaw. She is an officer of the State Fire Service. Currently a Ph.D. student at the Faculty of Process and Environmental Engineering of the Lodz University of Technology. Her principal research interests involve the numerical modelling of evacuation processes and fire safety engineering.

DR INŻ. IWONA ORŁOWSKA – funkcjonariusz PSP, absolwentka Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Obecnie doktorantka na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska. Obszar zainteresowań naukowych to modelowanie numeryczne procesów ewakuacji oraz inżynieria bezpieczeństwa pożarowego.

PROF. MAREK DZIUBIŃSKI, D.SC. ENG. – a research fellow at the Lodz University of Technology, currently serves as the Head of the Department of Chemical Engineering at the Faculty of Process Engineering and Environmental Protection. His scientific interests revolve around multiphase flows, with particular emphasis on Newtonian and non-Newtonian liquid-gas liquid flows, rheology and technical rheometry, risk and process safety elements (single- and two-phase outflows from pipelines and reservoirs), and the maintenance of emulsions and their properties.

PROF. DR HAB. INŻ. MAREK DZIUBIŃSKI – pracownik naukowy Politechniki Łódzkiej. Na tej uczelni obecnie pełni funkcję kierownika Katedry Inżynierii Chemicznej na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska. Naukowo interesuje się: przepływami wielofazowymi ze szczególnym uwzględnieniem przepływów dwufazowych ciecz – gaz cieczy newtonowskich i nienewtonowskich, reologią i reometrią techniczną, elementami ryzyka i bezpieczeństwa procesowego (wypływy jedno- i dwufazowe z rurociągów i zbiorników) oraz utrzymywaniem emulsji i ich właściwościami.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BITP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – zadanie finansowane w ramach umowy 658/P-DUN/2018 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

Mariusz Barański, M.Sc. Eng.^{a)*}

^{a)} *Łódź University of Technology / Politechnika Łódzka*

^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: 801229@edu.p.lodz.pl*

A Review of Models That Take Into Account the Effects of Emotional Contagion During Evacuation

Przegląd modeli uwzględniających efekt zarażania emocjonalnego w procesie ewakuacji

ABSTRACT

Purpose: A number of programs are available on the market to estimate individual parameters of the evacuation process. Starting from the estimated time of evacuation from the building, to the distribution of the use of individual evacuation routes, to the impact of the spreading of fire on evacuees. The most commonly used programs for modeling the evacuation process include Simulex, FDS + Evac, and Vissim. Currently, evacuation modeling software does not take into account psychological interactions between evacuees. What is of special importance in the evacuation process is emotional contagion. The phenomenon of emotional contagion has been the subject of extensive research recently. This article presents the current progress on the development of an accurate model that takes into account the effect of emotional contagion. Problems hindering the development of an appropriate model are also presented.

The development prospects for such tools are also discussed using the example of the available models, such as ESCAPE, ASCRIBE and Durupinar.

Introduction: The design of modern buildings requires the participants of the investment process to implement a number of solutions to ensure the safety of their future users. All types of modelling tools are used for this purpose, including those for evacuation modelling. Progress in the design of escape routes has contributed to the design of buildings that are much safer than they used to be in the past. Proper building design requires an analysis of a number of fire scenarios. The development of evacuation models is indispensable for proper safety assurance in designed and constructed buildings.

Methodology: This article reviews the available literature on the existing models taking into account the effect of emotional contagion. It analyses and compares existing models and discusses limitations that prevent their use for evacuation safety analysis.

Conclusions: Current evacuation modelling software does not take into account emotional contagion, an important phenomenon that occurs between evacuees. This phenomenon is common in every-day life but is particularly important during events involving crowds of people. It is necessary to further develop existing models to allow a more accurate reflection of reality, also in the context of emotional contagion. What may be helpful in this respect is research in the field of the psychology of emotion.

Keywords: modelling, emotional contagion, evacuation

Type of article: review article

Received: 21.05.2019; **Reviewed:** 11.06.2019; **Accepted:** 30.06.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0002-2217-6539;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 106–116, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.6>;

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

ABSTRAKT

Cel: Obecnie rynek oferuje szereg programów umożliwiających szacowanie poszczególnych parametrów procesu ewakuacji – począwszy od przypuszczonego czasu ewakuacji obiektu, poprzez rozkład wykorzystania poszczególnych dróg ewakuacyjnych, na wpływie rozprzestrzeniającego się pożaru na ewakuujące się osoby kończąc. Najczęściej używane programy do modelowania procesu ewakuacji to m.in. Simulex, FDS+Evac, Vissim. Aktualnie oprogramowanie do modelowania ewakuacji nie uwzględnia psychologicznych interakcji pomiędzy uczestnikami tego procesu. Szczególne znaczenie w procesie ewakuacji ma efekt zarażania emocjonalnego. Na przestrzeni ostatnich lat zjawisko to jest szczegółowo badane. W artykule przedstawiono aktualny postęp nad opracowaniem odpowiedniego modelu uwzględniającego efekt zarażania emocjonalnego. Przedstawiono również problemy utrudniające jego powstanie. Wskazano również na perspektywy rozwoju tego typu narzędzi na przykładzie rozwijanych modeli tj. Escape, ASCRIBE i Durupinar.

Wprowadzenie: Projektowanie nowoczesnych budynków wymaga od uczestników procesu inwestycyjnego zaangażowania szeregu narzędzi dla zapewnienia bezpieczeństwa ich przyszłych użytkowników. W tym obszarze zastosowanie mają wszelkiego rodzaju narzędzia do modelowania, w tym do modelowania ewakuacji. Postęp w zakresie projektowania dróg ewakuacji przyczynia się do projektowania budynków znacznie bezpieczniejszych niż to miało miejsce w przeszłości. Prawidłowe zaprojektowanie budynku wymaga przeanalizowania szeregu scenariuszy rozwoju zdarzeń w czasie pożaru. Doskonalenie modeli ewakuacji jest niezbędne do właściwego zapewnienia bezpieczeństwa w projektowanych i budowanych obiektach.

Metodologia: W artykule dokonano przeglądu literatury w zakresie istniejących modeli uwzględniających efekt zarażania emocjonalnego. Dokonano analizy i porównania istniejących modeli oraz przedstawiono ograniczenia uniemożliwiające ich wykorzystanie do analizy bezpieczeństwa ewakuacji.

Wnioski: Obecne oprogramowanie do modelowania ewakuacji nie uwzględnia istotnego zjawiska, które występuje pomiędzy ewakuującymi się osobami zarażania emocjami. Zjawisko to towarzyszy nam na co dzień i ma szczególne znaczenie podczas zdarzeń z udziałem tłumu w sytuacji zagrożenia. W związku z tym niezbędny jest dalszy rozwój istniejących modeli pozwalających na dokładniejsze odzwierciedlanie rzeczywistości, również w kontekście zarażania emocjonalnego. Pomocne w tym mogą być badania z zakresu psychologii emocji.

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Słowa kluczowe: modelowanie, ewakuacja, zarażanie emocjonalne

Przyjęty: 21.05.2019; Zrecenzowany: 11.06.2019; Zatwierdzony: 30.06.2019;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0002-2217-6539;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 106–116, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.6>;

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

Background

At the most general level, the Republic of Poland guarantees people safety under Article 5 of its Constitution [1]. Further Acts and regulations provide a more specific description of the extent to which the State ensures the safety of its citizens, also during evacuation.

In dangerous situations, people are faced with a fight-or-flight response, or, if the threat is unavoidable, they freeze [2]. In critical moments, when the individual is helpless, the only reasonable choice is to flee. Such behaviour (escape, or evacuation) is defined in such standards as PN-ISO 8421-6: 1997 *Fire protection – Vocabulary – Evacuation and means of escape* [3]. According to this Polish standard, evacuation is an orderly movement of people to a secure location (in the event of a fire or another hazard). But our analysis of evacuation cases provides evidence to support the claim that such movement is not always orderly. Observation of real-life emergency situations shows that evacuees' responses are often delayed (up to 10 minutes from the time alarm rings) and instead of taking the shortest evacuation route, people tend to choose the exits they know [4, 5]. Any delay in evacuation might contribute to greater time pressure related to the need to leave the dangerous location. In the event of rapidly developing hazards that create agitation among the evacuees and put them under greater time pressure, people might be moving chaotically. Such events are extremely rare, but if they

Wprowadzenie

Rzeczpospolita Polska gwarantuje bezpieczeństwo ludzi już na poziomie ustawy zasadniczej w art. 5 Konstytucji [1]. Ustawa oraz rozporządzenia bardziej szczegółowo definiują zakres, w jakim państwo zapewnia bezpieczeństwo obywateli – również bezpieczeństwo ewakuacji.

W sytuacji zagrożenia człowiek staje przed wyborem walki z nim lub ucieczki (zjawisko *fight-or-flight*), albo – w przypadku gdy zagrożenia nie może uniknąć – ulega zniemczeniu [2]. W krytycznym położeniu, w którym jednostka jest bezradna, jedynym właściwym wyborem jest ucieczka. Zachowanie to (ewakuacja) zdefiniowane jest m.in. w normie PN-ISO 8421-6: 1997 *Ochrona przeciwpożarowa – Terminologia – Ewakuacja i środki ewakuacji* [3]. Według polskiej normy ewakuacja to uporządkowany ruch osób do miejsca bezpiecznego (w przypadku pożaru lub innego zagrożenia). Jednak przeprowadzona przez autorów artykułu analiza sytuacji związanych z ewakuacją ludzi daje argumenty świadczące o tym, że nie zawsze mamy do czynienia z ruchem zorganizowanym. Obserwacje rzeczywistych zdarzeń pokazują, że uczestnicy ewakuacji często reagują z opóźnieniem (nawet do 10 min od alarmu) oraz wybierają znane drogi ewakuacyjne zamiast kierować się do najbliższych wyjść ewakuacyjnych [4, 5]. Wszelkie spowolnienia w rozpoczęciu ewakuacji powodują zwiększoną presję czasową związaną z potrzebą opuszczenia miejsca zagrożonego. W przypadku zagrożeń szybko rozwijających się, wzbudzających znaczne poruszenie wśród uczestników,

do occur, they often have tragic consequences, including fatalities. The results of research and recently developed theoretical models have shown that until the hazard actually becomes extreme and escalates beyond the ability to correctly assess and evaluate the situation, people act reasonably based on the available information [6, 7]. The theory of emergency-related stress suggests that as emotional arousal builds up, people tend to perform more efficiently and effectively, but only to a certain point, i.e., until they reach the optimum level. If the emotional arousal continues to grow, the efficiency and effectiveness of their actions drop significantly, and as such arousal peaks, they might become completely unable to act rationally [8]. This phenomenon, also known as the Yerkes-Dodson law [9], is confirmed by latest research [10]. Researchers found that emotions can be communicated between the participants in an event regardless of whether they are actively involved or just observing [11]. Information about the hazard and the associated emotions can spread freely across the crowd [12].

Panic

Robert Plutchik [13] has observed that emotions can be divided into several groups. And each group can have emotions of varying intensity. Plutchik developed what is known as 'the wheel of emotions'. It includes all the groups of emotions, (sub) divided by intensity. This classification has received broad recognition among scholars exploring theories of emotions. Figure 1 shows Plutchik's wheel of emotions.

As a result of a hazard, the crowd can experience specific emotions, such as concern, anxiety, fear, fright, and panic. The one that is the most dangerous is panic, which can be produced by serious hazards. John P. Keating has identified four constituent elements of panic [15]:

- hope of being able to escape as the chances of doing so are decreasing;
- contagious behaviour;
- aggressive interest in one's own safety; and
- irrational and illogical behaviour.

Noriss R. Johnson would argue that panic is acting in a selfish way to compete in disregard of social and cultural norms and to "violate the social order, and compete in a way unregulated by social constraints" [16]. And Robert M. Goldenson proposes that panic is a response that involves terror, confusion, and irrational behaviour caused by a serious and dangerous situation [17]. Anthony R. Mawson describes this emotion as an excessive and serious fear and/or flight when faced with a threat [18]. The emotion has also been defined as an extreme response to stress that prepares your body to fight or to flee. It also limits intellectual capabilities to increase the chances of survival. This is why in many cases it is virtually impossible to communicate with people who are in a state of panic [19].

wywierających presję ograniczonego czasu może dochodzić do przemieszczania się ludzi w sposób chaotyczny. Zdarzenia takie mają miejsce niezwykle rzadko, ale jeśli już wystąpią, bardzo często prowadzą do tragicznych sytuacji, z ofiarami śmiertelnymi włącznie. Wyniki badań i teoretyczne modele opracowywane na przestrzeni ostatnich lat pokazują, że dopóki zagrożenie nie stanie się rzeczywiście ekstremalne i dopóki nie zostanie przekroczona możliwość percepcji i właściwej oceny sytuacji, człowiek działa racjonalnie, kierując się dostępnymi informacjami [6, 7]. Teoria stresu w sytuacjach trudnych wskazuje, że wraz ze wzrostem pobudzenia emocjonalnego wzrasta się wyrażnie sprawność i skuteczność działania, ale tylko do pewnego stopnia tzn. do osiągnięcia poziomu optymalnego. Przy dalszym wzroście pobudzenia emocjonalnego skuteczność i jakość podejmowanych działań znacząco się obniża, a przy maksymalnym poziomie pobudzenia emocjonalnego może dochodzić do zupełnej niezdolności do racjonalnego działania [8]. Zjawisko to zwane również prawem Yerkesa-Dadsona [9] znajduje potwierdzenie w aktualnych badaniach [10]. Wskazują one, że emocje mogą być przekazywane pomiędzy uczestnikami danego zdarzenia niezależnie od tego, czy znajdują się oni w centrum wydarzeń, czy są tylko obserwatorami [11]. Informacja o zagrożeniu oraz towarzyszące jej emocje mogą swobodnie rozprzestrzeniać się w tłumie [12].

Panika

Robert Plutchik [13] zaobserwował, że emocje można podzielić na kilka grup. W każdej z nich występują przybierają one różną intensywność. Plutchik opracował diagram w postaci paraboloidy, w którym umieścił poszczególne grupy emocji z podziałem na ich intensywność. Klasyfikacja ta znalazła szerokie uznanie w naukach o teorii emocji. Rycina 1 przedstawia paraboloidę Plutchika.

W związku z występującym zagrożeniem w tłumie może dochodzić do powstawania określonych emocji takich jak: obawa, niepokój, lęk, strach czy panika. Najbardziej niebezpieczna jest panika, która może być wynikiem występowania dużego zagrożenia. John P. Keating wyróżnił cztery elementy składowe paniki [15]:

- nadzieję na możliwość ucieczki przy zmniejszających się możliwościach;
- zaraźliwe zachowania;
- agresywne zainteresowanie własnym bezpieczeństwem,
- nieracjonalne i nielogiczne zachowania.

Według Norissa R. Johnsona panika to zachowanie polegające na egoistycznej rywalizacji niekontrolowanej przez społeczne i kulturowe normy oraz polegające na „łamaniu porządku społecznego, rywalizacji nieuregulowanej przez siły oddziaływań społecznych” [16]. Natomiast według Roberta M. Goldensona panika jest reakcją obejmującą terror, zamieszanie i irracjonalne zachowanie wywołane groźną, niebezpieczną sytuacją [17]. Z kolei Anthony R. Mawson określa tę emocję jako nadmierny oraz intensywny strach i/lub ucieczkę podczas zagrożenia [18]. Definiowana jest również jako skrajna reakcja na stres, która przygotowuje ludzkie ciało do ucieczki lub walki. Powoduje również ograniczenia intelektu w celu zwiększenia szansy na przetrwanie. Dlatego też w wielu przypadkach praktycznie niemożliwe jest komunikowanie się ludzi znajdujących się w stanie paniki [19].

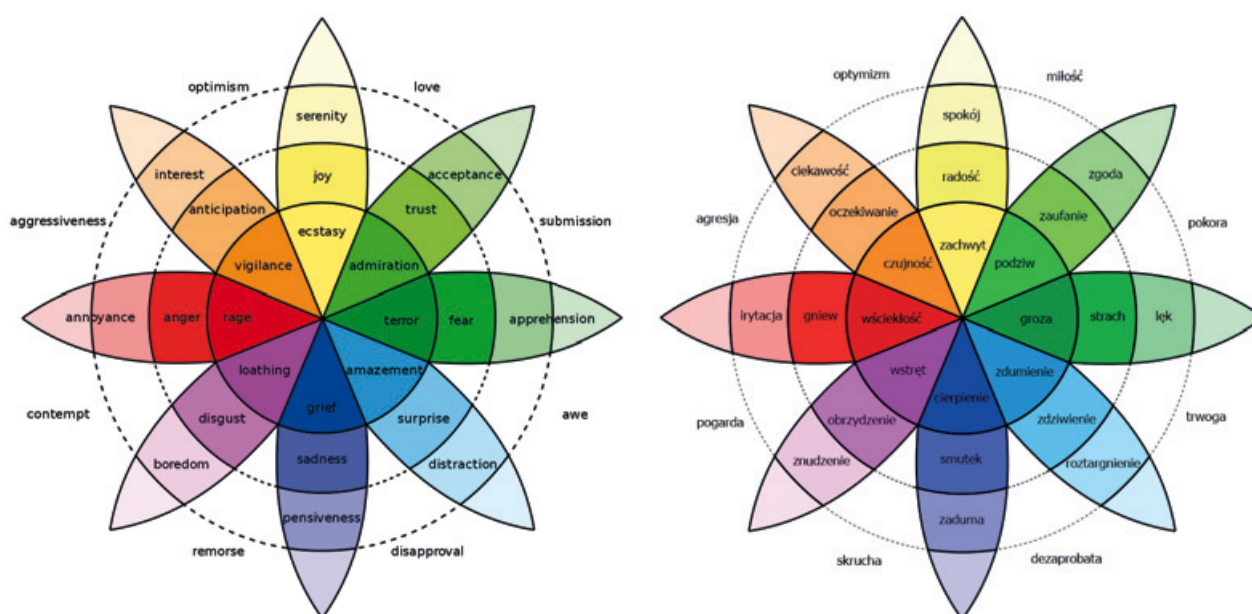


Figure 1. Plutchik's wheel of emotions [14]

Rycina 1. Koło emocji Plutchika [14]

In summary, panic is a response to considerable stress and fear caused by an external threat that could harm or kill you. This response impairs the quality of people's decisions, and in some cases renders them completely unable to act.

Podsumowując, zdaniem autora panika jest reakcją na intensywny stres, strach wywołany zewnętrznym zagrożeniem, które może prowadzić do unicestwienia jednostki lub jej śmierci. Reakcja ta prowadzi do ograniczenia jakości podejmowanych decyzji, a w niektórych przypadkach powoduje całkowitą niezdolność do jakiegokolwiek działania.

Human needs vs hazards

Events involving crowds faced with a hazard can also be analysed in terms of human needs. One of our primary needs is the need for safety. This is reflected in the hierarchy of needs proposed by A. Maslow [20]. In that hierarchy, represented as a pyramid, physiological needs are followed by those closely connected with safety, i.e. certainty, stability, support, and sense of law and order. The need for safety is considered to be an active and dominant factor that motivates people only in crisis situations. In threat situations all the other needs become secondary to the need for safety. This claim is supported by the behaviour of individuals in a state of panic, as they selfishly compete to achieve as much safety as possible and seek to leave the dangerous location regardless of what happens to other people [21].

Evacuation models

The term 'panic' is closely related to people (considered) as a group. Such a group of people who experience very strong emotional arousal due to a dangerous situation, such as a fire, an earthquake, or a terrorist act, as a result of which all individuals behave the same, is referred to as a crowd [22]. A broad

Ludzkie potrzeby a zagrożenia

Zdarzenia z udziałem tłumu w sytuacji zagrożenia można analizować również pod kątem ludzkich potrzeb. Jedną z najbardziej podstawowych jest bezpieczeństwo, co ma odzwierciedlenie w hierarchii potrzeb zaproponowanej przez A. Masłowa [20]. W trójkącie potrzeb po zaspokojeniu tych fizjologicznych znajduje się nowy zbiór potrzeb związanych ściśle z bezpieczeństwem (tj. pewność, stabilność, oparcie, poczucie porządku i prawa). Potrzebę bezpieczeństwa uznaje się za aktywny i dominujący czynnik, który mobilizuje zasoby organizmu jedynie w sytuacjach kryzysowych. Wszystkie inne potrzeby stają się w sytuacji zagrożenia mniej ważne od potrzeby bezpieczeństwa. Potwierdza to zachowania jednostki znajdującej się w stanie paniki – wówczas egoistycznie rywalizuje ona o jak największy poziom bezpieczeństwa, dąży do opuszczenia miejsca zagrożenia bez względu na dobro innych [21].

Modele ewakuacji

Pojęcie paniki ściśle związane jest ze zbiorowością ludzi. Zbiorowość ludzi, znajdująca się pod wpływem bardzo silnego pobudzenia emocjonalnego spowodowanego sytuacją zagrożenia (np. pożarem, trzęsieniem ziemi, aktem terrorystycznym), w którego efekcie wszystkie jednostki przejawiają takie samo

range of tragic stories involving crowds can be found on Professor G. Keith Still's website [23].

To control crowd responses is a huge challenge, especially for the security personnel that provide support during mass gatherings. One of the methods to reduce the risk of panic behaviour in a crowd is to take into account crowd density when designing the infrastructure. This is more and more often supported by evacuation models that help identify the locations that are potentially dangerous due to the possibility of attracting large crowds of people which markedly exceed design specifications. Such models make it possible to correctly design evacuation routes well in advance as the mass gathering or construction design are only being prepared. Another, but much less effective, way is to manage the crowd when the hazard has already occurred [24].

Evacuation models taking crowds into account are used to analyse a number of phenomena, such as the correct choice of emergency exits, the creation of queues, herd behaviour, spread of panic, smooth movement, decision-making behaviour, competition during movement of people, cooperation between evacuees, family behaviour, blocking and congestion of emergency routes, and queue-related behaviour. Evacuation modelling software does not factor in all psychological and social factors (e.g. emotional contagion), which significantly reduces its usability for modelling the state of panic within a crowd. The analysis carried out in *Modelling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches* [25] shows that there is a need for evacuation models to take into consideration psychological and physiological elements that affect the individual and group behaviour of evacuees.

The available tools make it possible to estimate not only the expected duration of evacuation, but also the number of people who will behave reasonably and will not be under severe stress in connection with the hazard.

Evacuation scenarios can be modelled on either a macroscopic or microscopic level. In the former case, the crowd is treated as a whole, while in the latter specific parameters are analysed for each individual separately. Among macroscopic models, there are those that rely on hydrodynamic principles to describe crowds as fluids with laminar flow [26] and as groups having dipole moments and being affected by magnetic field forces [27]. The microscopic approach has supplanted macroscopic models, as it is much more accurate in capturing what actually happens in real life. It involves modelling individual people within the crowd. These people have specific decision-making and behaviour patterns attributed to them. This approach includes models based on molecular dynamics [28, 29, 30], artificial intelligence [31], cellular automation [32, 33, 34, 35, 36], and agent-based models [34, 37, 38, 39].

These models have been implemented in many commercial and open-source evacuation-planning applications, such as FDS-Evac, Pathfinder, Steps, EvacuationNZ, Legion, EXODUS, Simulex, EVACNET4, VISSIM, AENEAS, and PedGo [40, 41].

zachowanie, nazywamy tłumem [22]. Szeroki przegląd tragicznych zdarzeń z udziałem tłumów znajduje się na portalu internetowym profesora G. Keitha Stilla [23].

Kontrolowanie reakcji tłumy stanowi ogromne wyzwanie szczególnie dla służb porządkowych zabezpieczających m.in. imprezy masowe. Jednym ze sposobów zmniejszenia ryzyka wystąpienia zachowań panicznych w tłumie jest planowanie infrastruktury z uwzględnianiem zagęszczenia ludzi. Pomocą w tym zakresie coraz częściej służą modele ewakuacji, które pozwalają na wskazanie miejsc potencjalnie niebezpiecznych ze względu na możliwość gromadzenia się w nich dużych skupisk ludzi znacznie przekraczających założenia projektowe. Modele takie umożliwiają odpowiednie zaprojektowanie dróg ewakuacji jeszcze na etapie przygotowywania imprezy masowej lub projektowania obiektu budowlanego. Innym, choć znacznie mniej skutecznym sposobem jest odpowiednie oddziaływanie na tłum w sytuacji, gdy już powstało zagrożenie [24].

Modele ewakuacji z udziałem tłumy są wykorzystywane do analizy szeregu zjawisk takich jak właściwy wybór wyjść ewakuacyjnych, tworzenie się kolejek, zachowania stadne, rozprzestrzenianie się paniki, zachowania płynności przemieszczania, zachowania związane z podejmowaniem decyzji, rywalizacją i konkurencją podczas przemieszczania się ludzi, współpracą uczestników ewakuacji, zachowania rodzinne, blokowanie i zatykanie się dróg ewakuacyjnych oraz zachowania związane z występowaniem kolejek. Oprogramowanie do modelowania ewakuacji nie uwzględnia wszystkich czynników psychologicznych i społecznych (m.in. zarażania emocjonalnego), co znacznie ogranicza wykorzystanie ich do modelowania stanu paniki z udziałem tłumy. Analiza przeprowadzona w publikacji *Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches* [25] wskazuje na potrzebę włączenia do modeli ewakuacji elementów psychologicznych i fizjologicznych wpływających na indywidualne i zbiorowe zachowania uczestników.

Obecne narzędzia pozwalają na oszacowanie nie tylko czasu procesu ewakuacji, ale również liczby osób zachowujących się racjonalnie niebędących pod wpływem intensywnego stresu związanego z zagrożeniem.

Modelowanie ewakuacji może odbywać się na poziomie makroskopowym (tłum traktowany jako całość) lub na poziomie mikroskopowym (analiza parametrów związanych z każdą osobą oddzielnie). Wśród modeli makroskopowych można wyróżnić te bazujące na zasadach hydrodynamiki opisującej tłum jako płyn o laminarnym przepływie [26] oraz jako zbiorowości wykazującej moment dipolowy i podlegających siłom pola magnetycznego [27]. Podejście mikroskopowe wyparło modele makroskopowe ze względu na znacznie większą dokładność w odwzorowaniu rzeczywistości. Polega ono na modelowaniu pojedynczych osób w tłumie, którym przypisuje się pewien sposób podejmowania decyzji i zachowania zgodnego z określonymi regułami. Można wymienić wśród nich modele oparte na metodach dynamiki molekularnej [28, 29, 30], sztucznej inteligencji [31], automatach komórkowych [32, 33, 34, 35, 36] oraz systemach agentowych [34, 37, 38, 39].

W oparciu o opisane modele powstało szereg komercyjnych oraz ogólnodostępnych aplikacji do projektowania procesu ewakuacji tj.: FDS-Evac, Pathfinder, Steps, EvacuationNZ, Legion, EXODUS, Simulex, EVACNET4, VISSIM, AENEAS, PedGo [40, 41].

Evacuation models that take into account emotional interactions between evacuees

[ASCRIBE] The development of evacuation models that take into account emotion contagion between evacuees has been inspired by two publications [42, 43]. A model introduced by Bosse suggests that emotions are communicated through a channel established between the sender and the receiver. Bosse argues that group emotions are the sum total of the emotions experienced by each individual member of the group. This takes into account the differences between individual personality traits, such as neuroticism and extroversion. This mechanism is similar to that behind heat dissipation in physics, where each material has specific heat capacity, which can be likened to an individual's susceptibility to other people's emotions in the process of emotional contagion. This computational model proposes a number of variables to account for the contagion between the emotion-sending agent S and the emotion-receiving agent R , and the communication channel between the two. The basic model uses the following variables:

- level of sender's emotion,
- level of receiver's emotion,
- sender's expressiveness,
- receiver's openness (to emotions),
- strength of the (communication) channel between the sender and the receiver.

Expressiveness reflects how expressive, active and energetic the sender is. This variable corresponds to such personality traits as extroversion and sensation seeking, and is rooted in the Behavioural Activation System (BAS). It shows to what degree the individual expresses their internal emotions outwardly. An introvert will produce weaker emotional contagion than an extrovert. Channel strength depends on the type and intensity of the interaction between the two people (e.g. attachment, family relationship). And openness shows how sensitive the receiver is (to other people's emotions), or, in other words, how much of other people's emotions they allow in, and whether they are compliant or emotionally stable.

[Durupinar] The second important model that describes emotional contagion within crowds of people was proposed by F. Durupinar in her PhD thesis [44]. This is a probabilistic model based on epidemiological modelling of spread of disease. The first step of the simulation is to draw randomised threshold values and doses for each agent. This model assumes that agents can only have two states, either *susceptible* or *infected*. When a susceptible person meets an infected one, there is a certain likelihood that the former will become infected by the latter.

$$D_j = \sum_{t'=t-k+1}^t d_i(t') \quad (1)$$

Exposure means receiving a random dose d_j drawn from a pre-determined probability distribution. Each agent maintains a running history of the doses received throughout the simulation. If the cumulative total of the doses $D_j(t)$ in the agent's history exceeds their threshold T_j , the agent becomes infected.

Modele ewakuacji uwzględniające interakcje emocjonalne uczestników

[ASCRIBE] Prace nad modelami ewakuacji uwzględniającymi rozprzestrzenianie się emocji między jej uczestnikami rozpoczęły się od dwóch publikacji [42, 43]. Model wprowadzony przez Bosse zakłada przechodzenie emocji kanałem ustalonym pomiędzy nadawcą i odbiorcą. Według autora emocje grupowe można określić jako sumę emocji poszczególnych jednostek występujących w grupie. Uwzględni on różnice pomiędzy indywidualnymi cechami osobowościowymi takimi jak: neurotyczność i ekstrawersja. Zaproponowany mechanizm przypomina modelowanie rozpraszania ciepła w fizyce, w którym każdy materiał ma określoną pojemność cieplną, co można porównać z podatnością osoby na emocje innych ludzi w procesie zarażania emocjonalnego. W modelu obliczeniowym zaproponowano wiele zmiennych odrywających rolę w zarażaniu pomiędzy agentem wysyłającym emocje S , agentem odbierającym emocje R oraz kanałem łączącym obydwu agentów. W podstawowym modelu sformułowano następujące zmienne:

- poziom emocji nadawcy,
- poziom emocji odbiorcy,
- ekspresja emocji nadawcy,
- otwartość na przyjmowanie emocji przez odbiorcę,
- siła kanału łącząca nadawcę z odbiorcą.

Ekspresja emocji zależy od tego, jak ekspresywna, aktywna lub energiczna jest osoba nadająca emocję. Zmienna ta odpowiada cechom osobowości ekstrawersji i poszukiwaniem sensacji, zakorzeniona jest w układzie nerwowym BAS. Mówi ona o tym, jak daleko człowiek przekształca swoje emocje wewnętrzne w zewnętrzną ekspresję. Introwertyk wywoła słabszy efekt zarażania emocjonalnego niż ekstrawertyk. Siła kanału zależy od rodzaju i intensywności kontaktu pomiędzy dwiema osobami (np. relacje przywiązania, relacje rodzinne). Zmienna otwartości natomiast określa stopień wrażliwości osoby odbierającej emocje. Pokazuje ona, w jakim stopniu odbiorca pozwala na otrzymywanie emocji od innych, czy jest uступliwy lub stały emocjonalnie.

[Durupinar] Drugi istotny model opisujący zjawisko zarażania emocjonalnego występującego w tłumie zaproponowała F. Durupinar w swojej rozprawie doktorskiej [44]. Jest to probabilistyczny model oparty na epidemiologicznym modelu rozprzestrzeniania się choroby. W pierwszym kroku symulacji dla każdego agenta losowane są dawki oraz wartości progowe. W modelu zakłada się, że agenci mogą znajdować się w dwóch stanach: podatnym i zarażonym. Gdy osoby podatne wejdą w kontakt z zarażonymi, mogą zarazić się z pewnym prawdopodobieństwem.

$$D_j = \sum_{t'=t-k+1}^t d_i(t') \quad (1)$$

Ekspozycja oznacza otrzymanie losowej dawki d_j z określonego rozkładu prawdopodobieństwa. Dla wszystkich osób zapamiętywane są dawki cząstkowe w kolejnych krokach symulacji. Jeśli dawka skumulowana $D_j(t)$ przekroczy w czasie symulacji określoną wartość progową T_j , to osoba ulega zarażeniu.

$$d_j = \log - N(\mu_{d_j}, \sigma_{d_j}^2) \quad (2)$$

$$T_j = \log - N(\mu_{T_j}, \sigma_{T_j}^2) \quad (3)$$

As a result, their status changes from susceptible to infected.

[ESCAPES] In their work, Jason Tsai, Natalie Fridman, Emmy Bowring et al. [45] proposed an evacuation tool based on the multi-agent model. It has four primary elements – various types of agents, emotional interactions, informational interactions, and behavioural interactions. In their work, the authors modelled evacuation for the International Terminal at Los Angeles International Airport (LAX). ESCAPES comprises a 2D, OpenGL environment and a 3D visualisation component using Massive Software. This system provides a probabilistic modelling of behaviour for each agent from among the available subset of behaviour types. Behaviour modelling is based on the combination of six Cognitive Mechanisms, each of which prioritise some of the agent's desires. One of such mechanisms is escape behaviour, with three alternatives – 'Run to Nearest Exit', 'Run to My Exit', and 'Search for Exit'. Each agent also has specific levels of emotions (fear level), an event certainty level, and a list of known exits. Fear is modelled as an integer value between 0 and 2 (*FearFactor*), 0 indicating that the agent has no fear. Higher levels of fear lead to higher movement speeds (to get out of the area as soon as possible). Event certainty is also modelled as an integer value between 0 and 2 (*EventCertainty*), designating how aware the agent is that an event has occurred and that, therefore, an evacuation is necessary. The highest level of event certainty is generated only by the agents close to the event. Further away agents may have *EventCertainty* of 1, and those furthest away have an *EventCertainty* of 0. Exit knowledge is modelled as a binary value. Such knowledge is dictated by where the agent entered from, a random chance to forget that exit, and the presence of authority figures nearby that would inform them of exits. In addition, ESCAPES models the presence of family units composed of two parents and two children with behaviours and cognitive mechanisms not applicable to general agents. When a danger occurs, parents immediately seek each other out to gather the family together before proceeding to an exit.

[Evaluation of the described models] The discussed models will now be theoretically analysed on the basis of single examples of real-life scenario modelling. At this stage, they have not been validated or verified. This limits their applicability in the assessment of evacuation safety.

Given the complexity of the psychological processes occurring between evacuees, the development of the right model can be very challenging.

$$d_j = \log - N(\mu_{d_j}, \sigma_{d_j}^2) \quad (2)$$

$$T_j = \log - N(\mu_{T_j}, \sigma_{T_j}^2) \quad (3)$$

Jest to równoznaczne ze zmianą stanu z podatnego na zarażony.

[ESCAPES] W pracy autorstwa Jasona Tsai, Natalie Fridman, Emmy Bowring i in. [45] zaproponowano narzędzie do ewakuacji bazujące na modelu wieloagentowym. Zakłada ono cztery podstawowe elementy: różne typy agentów, interakcje emocjonalne, interakcje informacyjne, interakcje behawioralne. W pracy autorzy przeprowadzili modelowanie ewakuacji dla międzynarodowego terminala na lotnisku w Los Angeles. W systemie ESCAPES zastosowano dwuwymiarowe środowisko OpenGL i komponent wizualizacji 3D z oprogramowaniem Massive Software. System pozwala na określenie w sposób probabilistyczny dla każdego agenta odpowiedniego zachowania spośród dostępnego podzbioru typów. Określanie odpowiedniego zachowania bazuje na kombinacji sześciu mechanizmów poznawczych (*Cognitive Mechanisms*), w których każdy definiuje dążenia i pragnienia agenta. Jednym z mechanizmów poznawczych jest chociażby zachowanie ucieczkowe, dla którego przypisano trzy warianty: ucieczka do najbliższego wyjścia, ucieczka do znanego agentowi wyjścia, poszukiwanie wyjścia. Każdy agent ma również określony poziom emocji (poziom lęku), pewności zdarzenia oraz listę znanych mu wyjść ewakuacyjnych. Strach jest tu modelowany jako liczba całkowita z przedziału od 0 do 2 (*FearFactor*), gdzie 0 oznacza brak strachu. Kolejne poziomy strachu prowadzą do wyższych prędkości przemieszczania się. Pewność zdarzenia również jest modelowana jako wartość całkowita z przedziału od 0 do 2 (*EventCertainty*), określająca stopień świadomości agentach do miejsca zdarzenia oraz związaną z tym koniecznością ewakuacji. Najwyższy poziom wykazują agenci znajdujący się w pobliżu zdarzenia. W większej odległości od zdarzenia pewność agentów kształtuje się na poziomie 1, natomiast agenci najbardziej oddaleni od centrum zagrożenia na poziomie 0. Znajomość przez agentów wyjść ewakuacyjnych jest wartością binarną. Składa się na nią wiedza o wyjściu, którym dany agent wszedł, losowa szansa na zapomnienie danego wyjścia oraz informacje od agentów znajdujących się w pobliżu, którzy są upoważnieni do informowania o wyjściach ewakuacyjnych. W modelu ESCAPES autorzy wykorzystują również obecność rodzin (w składzie: dwoje rodziców i dwoje dzieci), których zachowania i mechanizmy poznawcze są odmienne od mechanizmów ogólnie przyjętych dla pozostałych agentów. Kiedy występuje sytuacja zagrożenia, rodzice szukają siebie nawzajem, aby zebrać wszystkich członków rodziny przed wyjściem ewakuacyjnym.

[Ocena przywołanych modeli] Prezentowane modele poddawane są obecnie analizie teoretycznej z pojedynczymi przykładami modelowania rzeczywistych zdarzeń. Na tym etapie nie zostały odpowiednio zwalidowane oraz zweryfikowane. Ogranicza to możliwość zastosowania powyższych modeli w aplikacjach służących do oceny bezpieczeństwa ewakuacji.

Złożoność procesów psychologicznych zachodzących pomiędzy ewakuującymi się osobami powoduje znaczne trudności w opracowaniu odpowiedniego modelu.

Table 1. Model comparison**Tabela 1. Porównanie modeli**

Model	Heightened emotion Rodzaj rozprzestrzeniającej się emocji	Applicability Zastosowanie	Real-life event to compare to Porównanie z rzeczywistym zdarzeniem	Agent personality model used Wykorzystany model osobowości agenta	Emotion scale Skala emocji
ESCAPE [45]	Fear / Strach	Evacuation Ewakuacja	Los Angeles International Airport Międzynarodowe Lotnisko w Los Angeles,	–	Three levels of fear (0, 1, 2) Trzy poziomy strachu (0, 1, 2)
ASCRIBE [42]	Fear / Strach	A person shouting in a crowd Krzycząca osoba w tłumie	Dam Square in Amsterdam Plac Dam w Amsterdamie	–	Continuous, between 0 and 1 Ciągła z przedziału od 0 do 1
Durupinar [44]	Fear, anger, joy Strach, złość, radość	Festival, Protest, Evacuation Festiwal, Protest, Ewakuacja	–	OCEAN [46]	Binary (0, 1) Binarna (0, 1)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Current issues in modelling emotional contagion in crowds of people

Dangerous events involving crowds of people are relatively rare. And it is difficult to anticipate where and when such events will occur. Consequently, the data for analysis are limited, and that which are available tend to be very general. Moreover, as mentioned earlier, crowds are affected by very complex processes in which there are many variables at play. Until recently, to model the movement of a single individual was a serious challenge. In addition, there are many phenomena related to the speed at which people move, their density within a specific area, flow, decision-making in dangerous situations, spread of information about the danger and chances of being rescued, as well as spread of emotions and changes in their levels. All these complex processes found in crowds are yet to be studied in detail. There have been determined research efforts in areas such as the psychology of emotion to develop more accurate models for predicting crowd behaviour during emergencies. As part of these efforts, the University of Łódź has attempted to develop a scale to measure the levels of emotions in people [47]. But so far the results have only been presented during Polish Social Psychologist Association (PSPS) meetings [48].

Another challenge on our way to develop accurate models is the complexity and diversity of the human mind, which has an individual-specific way of analysing the reality. And it is difficult to anticipate how a person will respond to a specific emergency. What is also unknown are the characteristics and inclinations of the people who might happen to be present in the area or building used in the analysis for evacuation modelling. A single model fails to provide a complete picture of crowd behaviour and the way it develops under specific circumstances. The only way to enhance the quality of such modelling is to perform a series of modelling operations with different parameters. What seems to be the right tool for the job is the Monte Carlo method [49], which can be useful for constructing the worst-case scenario and cal-

Obecne problemy w modelowaniu rozprzestrzeniania się emocji w tłumie

Niebezpieczne zdarzenia z udziałem tłumu występują stosunkowo rzadko. Ich lokalizacja oraz czas pojawienia się są trudne do przewidzenia. Stąd danych do analizy jest stosunkowo niewiele, a te dostępne cechuje wysoki stopień ogólności. Ponadto, jak już wcześniej wspomniano, tłum podlega bardzo złożonym procesom, w których pojawia się wiele zmiennych. Odzworowanie ruchu pojedynczej osoby do niedawna stanowiło poważne wyzwanie. Dodatkowo dochodzi szereg zjawisk związanych z prędkością przemieszczania się ludzi, gęstością ich rozmieszczenia, przepływem, podejmowaniem decyzji w sytuacji zagrożenia, rozprzestrzenianiem się informacji o zagrożeniu i możliwości uratowania, a także rozprzestrzenianiem się emocji oraz zmianą ich intensywności. Skomplikowane procesy występujące w tłumie nie zostały jeszcze dokładnie zbadane. Ciągłe prowadzone są intensywne prace chociażby w zakresie psychologii emocji, które mogą przyczynić się do powstania bardziej dokładnych modeli odwzorowujących zachowania tłumu podczas zagrożeń. Jednym z takich badań jest próba opracowania skali, za pomocą której można będzie mierzyć poziom emocji u ludzi (prowadzone aktualnie przez Uniwersytet Łódzki [47]). Do tej pory wyniki badań były prezentowane jedynie podczas Zjazdu Polskiego Stowarzyszenia Psychologii Społecznej [48].

Kolejnym wyzwaniem na drodze tworzenia precyzyjnych modeli jest złożoność i różnorodność ludzkiego umysłu, który analizuje rzeczywistość indywidualnie. Trudno więc przewidzieć, jak dana osoba zareaguje na określone zagrożenie. Niewiadomą są również cechy i predyspozycje osób, które mogą znaleźć się na danym terenie, w określonym budynku, dla którego prowadzimy badania przy wykorzystaniu modelu ewakuacji. Zastosowanie pojedynczego modelowania w określonych warunkach nie daje pełnego obrazu możliwości wystąpienia i rozwoju zdarzeń z udziałem tłumu. Jedynym sposobem na podniesienie poziomu modelowania jest wykonanie szeregu modeli z założen-

culating its probability. It is important to note that as a result of limited data on actual events involving crowds, it is difficult to validate and verify the produced scenarios. But this does not change the fact that the need to make people safe during various gatherings requires continuous studying of crowd-related phenomena using the available data and up-to-date knowledge from many fields directly related to evacuation safety. In the domain of psychology, there have been many studies on emotions and the ways they spread, that could be used in the future to model emotional contagion during the evacuation of people in emergency situations.

Summary

As they gradually get updated, evacuation models offer improved accuracy in reality modelling. By using research data and observation of real-life events involving evacuees, evacuation scenarios can be predicted more accurately. It seems necessary to integrate this with the findings from studies into the psychology of emotion and decision-making. The rapid technological development, and more specifically the advancements made in video recording, has provided more and more data to build enhanced evacuation models. What can also provide valuable insights are CCTV systems that are available virtually everywhere, and the practice of recording events by the participants themselves using mobile phones. The complexity of the processes occurring within crowds can now be analysed by powerful computers. And with continuously growing computing power, we are able to study a number of variables in the processes as complex as evacuation.

Conclusions

Advancements in psychology have provided new insights for the development of more accurate models of emotional contagion in evacuation situations. In addition, technological development has provided the tools for modelling more and more complex processes. CCTV systems and private video recordings of dangerous incidents involving evacuees provide input data for analysing the processes occurring within crowds during evacuation. The range of those psychological phenomena has not yet been sufficiently mapped by the existing evacuation models, which calls for further research into this area.

niem różnych parametrów. Właściwym narzędziem wydaje się metoda Monte Carlo [49], która może okazać się pomocna przy określeniu najbardziej niekorzystnego scenariusza oraz prawdopodobieństwa jego wystąpienia. Należy dodać, że w związku z małą ilością danych z rzeczywistych zdarzeń z udziałem tłumów proces walidacji i weryfikacji powstałych modeli jest utrudniony. Nie zmienia to faktu, że potrzeba zapewnienia bezpieczeństwa ludziom podczas różnorodnych zgromadzeń wymaga ciągłych badań nad zjawiskiem tłumu przy wykorzystaniu dostępnych danych oraz bieżącej wiedzy z wielu dziedzin bezpośrednio związanych z bezpieczeństwem ewakuacji. W dziedzinie psychologii prowadzonych jest szereg badań dotyczących emocji oraz dróg ich rozprzestrzeniania się, które w przyszłości pozwolą na użycie ich do modelowania zjawiska zarażania emocjonalnego podczas ewakuacji ludzi w sytuacji zagrożenia.

Podsumowanie

Kolejne wersje modeli ewakuacji pozwalają na coraz dokładniejsze odwzorowywanie rzeczywistości. Wykorzystanie danych z badań i obserwacji rzeczywistych zdarzeń z udziałem ewakuujących się ludzi pozytywnie wpływa na stopień dokładności przewidywania przebiegu tego procesu. Niezbędne wydaje się wykorzystanie prowadzonych badań z zakresu psychologii emocji oraz podejmowania decyzji. Intensywny rozwój technologii informatycznych (dokładnie w obszarze analizy nagrań video) dostarcza coraz więcej danych do budowania kolejnych wersji modeli ewakuacji. Ponadto źródłem cennych informacji jest wszechobecny monitoring oraz zwyczaj nagrywania zdarzeń przez samych uczestników za pomocą telefonów komórkowych. Złożoność procesów zachodzących w tłumie może być obecnie analizowana poprzez komputery o dużej mocy obliczeniowej. Ich ciągle rosnąca moc obliczeniowa pozwala na badanie szeregu zmiennych w złożonych procesach, jakim chociażby jest proces ewakuacji.

Wnioski

Postęp w badaniach z dziedziny psychologii dostarcza nowych danych do opracowania dokładniejszych modeli zarażania emocjonalnego w sytuacjach ewakuacji. Ponadto rozwój technologii informatycznych daje możliwości modelowania coraz bardziej złożonych procesów. Sieć monitoringu oraz prywatne nagrania wideo niebezpiecznych zdarzeń z udziałem ewakuujących się osób dostarczają danych do analizy procesów występujących w ewakuującym się tłumie. Szereg zjawisk psychologicznych nie jest jeszcze dostatecznie odwzorowywanych w istniejących modelach ewakuacji, co motywuje do prowadzenie dalszych badań.

Literature / Literatura

- [1] Konstytucja Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 2 kwietnia 1997 r. (Dz. U. 1997 nr 78 poz. 483), <http://prawo.sejm.gov.pl/isap.nsf/DocDetails.xsp?id=WDU19970780483> [dostęp: 10.07.2019].
- [2] *The reinforcement sensitivity theory of personality*, J. Corr Philip (ed.), Cambridge University Press, New York 2008.
- [3] PN-ISO 8421-6:1997 Ochrona przeciwpożarowa – Terminologia – Ewakuacja i środki ewakuacji.
- [4] Proulx G., Fahy R.F., *The time delay to start evacuation: review of five case studies*, "Fire Saf. Sci." 1997, 5, 783–794, <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.5-783>.
- [5] BS 7974:2001 The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings Part 6: Human factors: Life safety strategies Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).
- [6] Tarnowski A., Wizimirska N., Ciszewski J., *Mit paniki-mechanizmy poznawcze, emocjonalne i społeczne reakcji ludzi na zagrożenie pożarem*, „Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka” 2009, 8–11.
- [7] Nguyen V. T., Longin, D., Ho T. V., Gaudou B., *Integration of emotion in evacuation simulation*, International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries, Springer, Cham 2014, 192–205, https://doi.org/10.1007/978-3-319-11818-5_17.
- [8] Yerkes R. M., Dodson J. D., *The Relationship of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit Formation*, „Journal of Comparative Neurology and Psychology” 1908, 18, <https://doi.org/10.1002/cne.920180503>.
- [9] Teigen K. H., Yerkes-Dodson: A Law for all Seasons, „Theory & Psychology” 1994, 4(4), 525–547, <https://doi.org/10.1177/0959354394044004>.
- [10] Imbir K. *Dwa systemy emocji i ich konsekwencje dla procesów poznawczych*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warszawskiego, Warszawa 2018.
- [11] Wróbel M., *Zarażanie afektywne. O procesie transferu emocji i nastroju między ludźmi*, PWN, 2016.
- [12] LeDoux J., *Mózg emocjonalny*, Media Rodzina, Poznań 2001.
- [13] Plutchik R., *Emotion: A Psychoevolutionary Synthesis*, Harper & Row, New York 1980.
- [14] Kołakowska, A., Landowska, A., Szwoch, M., Szwoch, W., Wróbel, M. R., *Modeling emotions for affect-aware applications*, Information Systems Development and Applications, 2015, 55–69.
- [15] Keating J. P., *The myth of panic*, „Fire Journal” 1982, 76(3), 57–61.
- [16] Johnson R. N., *Panic and the Breakdown of Social Order: Popular Myth, Social Theory, Empirical Evidence*, „Sociological Focus” 1987, 20(3), 171–183, <https://doi.org/10.1080/00380237.1987.10570950>.
- [17] *Longman Dictionary of Psychology and Psychiatry*, R. M. Goldenson (ed.), Longman, New York 1984.
- [18] Mawson A. R., *Understanding Mass Panic and Other Collective Responses to Threat and Disaster*, „Psychiatry” 2005, 68(2), 95–113, <https://doi.org/10.1521/psyc.2005.68.2.95>.
- [19] Säterhed P., Hansson M., Strandlund J., Nilsson T., *Säkerhetsguide för evenemang, Räddningsverket/Rikspolisstyrelsen*, Karlstad 2011.
- [20] Maslow A., *Motywacja i osobowość*, PWN, Warszawa 2018.
- [21] Szynowski R., *Bezpieczeństwo w bieżącej działalności administracji publicznej*, w: Bezpieczeństwo. Teoria-Badania-Praktyka, A. Czupryński, B. Wiśniewski, J. Zboina (red.), CNBOP-PIB, Józefów 2015, 109–120.
- [22] Maciak, T., Barański, M., *Wprowadzenie do komputerowego modelowania zachowania się tłumu. Wybrane aspekty psychologii tłumu*, BITP Vol. 40 Issue 4, 2015, pp. 39–49, <https://doi.org/10.12845/bitp.40.4.2015.3>.
- [23] Still K., *Crowd Safety and Risk Analysis*, <http://www.gkstill.com/ExpertWitness/CrowdDisasters.html> [dostęp: 03.06.2019].
- [24] Rasmus P., Machala W., Cwietskowska M., Sobów T., *Zjawisko paniki i kontrolowanie reakcji tłumu*, „Anestezjologia i Ratownictwo” 2014, 8(4), 448–452.
- [25] Zheng, X., Zhong, T., Liu, M., *Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches*, „Build. Environ.” 2009, 44(3), 437–445, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.04.002>.
- [26] Helbing D., *A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians*, „Complex Systems” 1992, 6, 391–415.
- [27] Okazaki S., *A study of pedestrian movement in architectural space, part 1: Pedestrian movement by the application of magnetic models*, „Trans. of A.I.J.” 1979, 283, 111–119, https://doi.org/10.3130/aijsaxx.283.0_111.
- [28] Helbing D., Molnar P., *Social force model for pedestrian dynamics*, „Physical Review E” 1995, 51(5), 4282–4286, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.51.4282>.
- [29] Kwak J., Jo H.H., Luttinen T., Kosonen I., *Collective dynamics of pedestrians interacting with attractions*, „Physical Review E” 2013, 88(6), 062810, <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.88.062810>.
- [30] Xu S., Duh H.B.L., *A simulation of bonding effects and their impacts on pedestrian dynamics*, *Intelligent Transportation Systems*, „IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems” 2010, 11(1), 153–161, <https://doi.org/10.1109/TITS.2009.2036152>.
- [31] Tadeusiewicz R., *Introduction to intelligent systems*, w: *The Industrial Electronics Handbook, Intelligent systems*, B. M. Milanowski, J. D. Irwin (red.), Taylor & Francis Group, 1.1-1.12, 2011, <https://doi.org/10.1201/9781315218427-1>.
- [32] Barański M., Maciak T., *Model ewakuacji wykorzystujący automaty komórkowe*, BITP Vol. 45, Issue 1, 2017, pp. 68–79, <https://doi.org/10.12845/bitp.45.1.2017.5>.
- [33] Bandini S., Federici M.L., Vizzari G., *Situated cellular agents approach to crowd modeling and simulation*, „Cybernetics and Systems: An International Journal” 2007, 38(7), 729–753, <https://doi.org/10.1080/01969720701534141>.
- [34] Bandini S., Rubagotti F., Vizzari G., Shimura K., *An agent model of pedestrian and group dynamics: experiments on group cohesion*, w: *AI* IA 2011: Artificial Intelligence Around Man and Beyond*, R. Pirrone, F. Sorbello (red.), Springer, Berlin Heidelberg 2011, 104–116, https://doi.org/10.1007/978-3-642-23954-0_12.
- [35] Burstedde C., Klauck K., Schadschneider A., Zittartz J., *Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional Cellular Automaton*, „Physica A” 2001, 295(3), 507–525, [https://doi.org/10.1016/S0378-4371\(01\)00141-8](https://doi.org/10.1016/S0378-4371(01)00141-8).
- [36] Wąs J., *Algorytmy modelowania inteligentnych zachowań w zagadnieniach dynamiki pieszych z zastosowaniem niehomogenicznych automatów komórkowych*, Praca doktorska, AGH, 2006, [dok. elektr.] <http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9768/full9768.pdf> [dostęp: 03.06.2019].
- [37] Dijkstra J., *An agent architecture for visualizing simulated human behavior to support the assessment of design performance*, w: 2008 International Conference on Computational Intelligence for Modeling Control and Automation, 2008, 808–813, <https://doi.org/10.1109/CIMCA.2008.58>.
- [38] Ma J., Lo S.M., Song W.G., Wang W.L., Zhang J., Liao G.X., *Modeling pedestrian space in complex building for efficient pedestrian traffic simulation*, „Automation in Construction” 2013, 30, 25–36, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.11.032>.

- [39] Schelhorn T., O'Sullivan D., Haklay M., Thurstain-Goodwin M., *STREETS: An Agent-based Pedestrian Model*, wykład na konferencji "Computers in Urban Planning and Urban Management", Venice 1999, <http://discovery.ucl.ac.uk/150308/1/paper9.pdf> [dostęp: 03.06.2019].
- [40] Ronchi E., Kinsey M., *Evacuation models of the future: insights from an online survey of user's experiences and needs*, w: *Advanced Research Workshop: Evacuation and Human Behaviour in Emergency Situations*, Universidad de Cantabria, GIDA, Santander 2011, 145–155.
- [41] Kuligowski E. D., Peacock R. D., Hoskins B. L., *A review of building evacuation models*, Gaithersburg, MD: US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, 2005, <https://doi.org/10.6028/NIST.TN.1471>.
- [42] Bosse T., Duell, R., Memon, Z. A., Treur, J., Van Der Wal, C. N., *Multi-Agent Model For Mutual Absorption Of Emotions*, w: *Proceedings of the 23rd European Conference on Modelling and Simulation*, European Council on Modeling and Simulation, 2009, 212–218, <https://doi.org/10.7148/2009-0212-0218>.
- [43] Hoogendoorn M., Treur J., Van Der Wal C. N., Van Wissen A., *Modeling the interplay of emotions, beliefs and intentions within collective decision making based on insights from social neuroscience*, w: *International Conference on Neural Information Processing*, Springer, Berlin – Heidelberg 2010, 196–206, https://doi.org/10.1007/978-3-642-17537-4_25.
- [44] Durupinar F., *From audiences to mobs: Crowd simulation with psychological factors*, praca doktorska, Bilkent University, 2010.
- [45] Tsai, J., Fridman, N., Bowring, E., Brown, M., Epstein, S., Kaminka, G., Taylor, M. E., *ESCAPES: evacuation simulation with children, authorities, parents, emotions, and social comparison*, w: *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Volume 2, 2011, 457–464.
- [46] *The five-factor model of personality: Theoretical perspectives*, Wiggins J. S. (red.) Guilford Press, New York – London 1996.
- [47] Szubański K., *Psychologowie opracowują nowe „narzędzie” do pomiaru radości, smutku, złości i strachu*, <http://naukawpolsce.pap.pl/aktualnosci/news%2C28480%2Cpsychologowie-opracowuja-nowe-narzedzie-do-pomiaru-radosci-smutku-zlosci-i-strachu> [dostęp: 03.06.2019].
- [48] Wróbel M., Troszczyńska A., Pacholczyk B., Bijoch R. W., Mandrysz M., *W stronę bardziej jednolitego pomiaru radości, smutku, złości i strachu: Skala Czterech Specyficznych Emocji*, Zjazd Polskiego Stowarzyszenia Psychologii Społecznej, 2018.
- [49] Metropolis N., Ulam S., *The Monte Carlo Method*, "Journal of the American Statistical Association" 1949, 944(247), 335–341, <https://doi.org/10.2307/2280232>.

MARIUSZ BARAŃSKI, M.SC. ENG. – graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering, Main School of Fire Service, member of the State Fire Service – senior specialist at the Testing and Reconnaissance Department, State Fire Service in Wrocław. Currently, a PhD student at the Faculty of Process and Environmental Engineering, Łódź University of Technology. Author of papers on evacuation safety. His scientific interests include the numerical modelling of evacuation processes that takes into account threat-specific emotional contagion effects on evacuees.

MGR INŻ. MARIUSZ BARAŃSKI – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej – starszy specjalista w Wydziale Kontrolno-Rozpoznawczym Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej we Wrocławiu. Obecnie doktorant na Wydziale Inżynierii Procesowej i Ochrony Środowiska Politechniki Łódzkiej. Autor artykułów z zakresu bezpieczeństwa ewakuacji. Jako przedmiot swoich zainteresowań naukowych wybrał modelowanie numeryczne procesów ewakuacji z uwzględnieniem efektów zarażania emocjonalnego wśród jej uczestników uzależnionych od występujących zagrożeń.

Notified body in the
scope of Regulation (EU)
No 305/2011

Research laboratories
accredited by Polish
Centre for Accreditation

Body entitled to issue
European and national
technical assessments

over **45** years of experience

We act the benefit of public safety in Poland, especially in the scope fire protection, emergency management, civil protection and civil defense.

Our service

- Admittance of fire protection products
- European and national certification of construction products
- Voluntary certification of fire protection products
- Certification of entities offering fire protection services
- European and national technical opinions
- Technical opinions and expertise
- Testing of innovative products
- Test of:
 - equipment of fire protection units
 - fixed firefighting systems
 - chemicals and fires
 - combustion and explosion processes
 - firefighting systems and automatics
- Fire protection training

**CNBOP-PIB SCIENTIFIC AND RESEARCH CENTRE FOR FIRE PROTECTION
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE**

Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów, Poland | tel. +48 22 769 32 73 | cnbop@cnbop.pl | www.cnbop.pl

Konrad Podawca, Ph.D.^{a)*}; Marek Przywózki, M.Sc. Eng.^{b)}

^{a)} *Warsaw University of Life Sciences / Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie*

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

* *Corresponding author / Autor korespondencyjny: konrad_podawca@sggw.pl*

The Impact of Structural and Material Solutions for Glazing Connections on Deformation During Fire

Wpływ rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych połączeń przeszkleń na odkształcenia podczas działania ognia

ABSTRACT

Purpose: The article aims to present the differences between different construction and material solutions for glazed partition walls in terms of fire safety, as described by the displacements created by flames.

Introduction: Despite the increasingly stringent requirements concerning fire protection and the use of best available techniques, the number of building fires is constantly increasing. Statistics published by the National Headquarters of the State Fire Service show that public buildings account for a significant proportion of these events. In this type of facilities, appropriate design of partition walls is crucial for maintaining the standards of fire safety. Because of an increasing scale of glazed partitions' application in the office buildings' interior arrangement, it is important to note that the fire resistance of the glazings is affected not only by the type or thickness of the fire-resistant glazing but also by the way it is installed, the type of carrying profiles and the sealing materials used.

Methodology: The initial stage included design of an original solution for a frameless glass partition. The partition was subjected to fire tests carried out in accordance with PN-EN 1363-1 and 1364-1 standards. The obtained results of the designed partition were subjected to a comparative analysis with other vertical, framed glazed elements of similar dimensions. The comparative analysis relied on the results provided by the fire tests reports for the glazed partition walls in the framed construction made of wood, aluminium and steel.

Conclusions: The comparative analysis showed that the structure made of steel sections was characterized by the highest susceptibility to displacement caused by fire, in the range of 200 mm. The occurring deformations significantly differed from the results obtained for the other partitions, out of which the lowest deformation values were obtained for the frameless structure (max. 3 mm) and wooden profiles (max. 11 mm). However, it is worth mentioning that in the case of the wooden structure the deformations were directed towards the outside, and in the other cases, towards the inside of the furnace. The comparative analysis revealed that solutions without a frame, based only on vertical connection of large glazing, provide better results in terms of ensuring fire tightness. This fact may be of considerable importance for the staff evacuation process and fire extinguishing in high-rise office buildings.

Keywords: fire, fire resistance, glass partition wall, fire protection glass

Type of article: case study

Received: 30.06.2019; **Reviewed:** 03.09.2019; **Accepted:** 03.09.2019;

Authors' ORCID IDs: K. Podawca – 0000-0001-5261-6657; M. Przywózki – 0000-0003-0155-8930;

Percentage contribution: K. Podawca – 49%; M. Przywózki – 51%;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 118–128, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.7>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest ukazanie różnic pomiędzy różnymi rozwiązaniami konstrukcyjno-materiałowymi przeszklonych ścian działowych w kontekście odporności ogniowej wyznaczanego na podstawie wartości przemieszczeń powstających w nich pod wpływem działania płomieni.

Wprowadzenie: Pożary budynków w Polsce to zjawisko przybierające na sile, pomimo coraz bardziej rygorystycznych wymagań ochrony przeciwpożarowej i stosowania nowoczesnych rozwiązań. Analiza szczegółowych statystyk prowadzonych przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej pokazuje, że znaczący procent zdarzeń dotyczy budynków użyteczności publicznej. Odpowiednie zaprojektowanie ścian działowych w tego typu obiektach wydaje się być kluczowe dla bezpieczeństwa pożarowego. Ze względu na coraz powszechniejsze stosowanie przegród przeszklonych w projektowaniu przestrzeni obiektów biurowych, warto zwrócić uwagę na fakt, że na odporność ogniową tych witryn ma wpływ nie tylko typ i grubość szkła ogniochronnego, ale również sposób jego mocowania, rodzaj profili nośnych czy użyte materiały izolacyjne i uszczelniające.

Metodologia: Wstępnym etapem było zaprojektowanie autorskiego rozwiązania bezramowej konstrukcji przegrody przeszklonej. Przegrodę tę poddano badaniom ogniowym zgodnie z normami PN-EN 1363-1 i PN-EN 1364-1. Otrzymane rezultaty zaprojektowanej przegrody poddano analizie porównaw-

czej z innymi pionowymi, ramowymi elementami przeszklonymi o zbliżonych gabarytach. Do porównania przyjęto wyniki zawarte w raportach badań ogniowych przeszklonych ścian działowych w konstrukcji ramowej wykonanej z drewna, aluminium i stali.

Wnioski: Na podstawie analizy porównawczej stwierdzono, że konstrukcję wykonaną z kształtowników stalowych cechowała największa podatność na ugięcie pod wpływem wysokiej temperatury spowodowanej działaniem ognia (wartość rzędu 200 mm). Występujące deformacje znacząco odbiegały od wyników otrzymanych dla pozostałych przegród, z których najmniejsze wartości odkształceń uzyskano dla konstrukcji bezramowej (max. 3 mm) i profili drewnianych (max. 11 mm) – z tym, że w konstrukcji drewnianej odkształcenia następowały na zewnątrz, a w pozostałych przypadkach do wnętrza pieca. Wykonana analiza porównawcza pokazała, że rozwiązania pozbawione ram, a bazujące jedynie na łączeniu pionowym dość dużych przeszkleń, dają lepsze wyniki pod względem zapewnienia szczelności i izolacyjności ogniowej. Może to mieć niebagatelne znaczenie podczas procesu ewakuacji ludzi i gaszenia pożaru w wysokich budynkach biurowych.

Słowa kluczowe: pożar, odporność ogniowa, przeszklona ściana działowa, szkło ogniochronne

Typ artykułu: studium przypadku

Przyjęty: 30.06.2019; **Zrecenzowany:** 03.09.2019; **Zatwierdzony:** 03.09.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: K. Podawca – 0000-0001-5261-6657, M. Przywózki – 0000-0003-0155-8930;

Procentowy wkład merytoryczny: K. Podawca – 49%; M. Przywózki – 51%;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 118–128, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.7>;

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

Introduction

In spite of stringent fire protection laws and the use of modern solutions, the number of building fires is increasing in Poland (approximately 33 000 in 2013 and 2014, nearly 40 000 in 2017, and 38 000 in 2018). Detailed statistical data gathered by the National Fire Service Headquarters indicates that fires in public utility buildings constitute approximately 7% of all the fires in buildings and approximately 2% of all fire events, including forest fires and agricultural land fires [1]. Despite the fact that fires of these types of building structures are uncommon, they pose a significant risk to civilians due to the intended purpose of such buildings. Glass partitioning walls are becoming more common in these types of buildings, and in particular in offices and service buildings. It seems that, because of the benefits they offer, glass partitions are facing no competition. Their popularity is mainly due to the possibility of allowing enough light into the rooms without the need to provide direct window access. Moreover, they are characterised by particularly good acoustic insulation, and allow free arrangement (which is a more convenient solution for employees in comparison to desks arranged in the form of an open space) and different options in terms of joining the elements and combining them with various types of wall structures. Their other advantages include modern design, enabling the possibility of visual contact with other employees or rooms while maintaining the employees' "own" office space and thus providing a certain level of mental comfort during work [2]. The glass partitions are commonly used in tall office buildings which pose a particular challenge for firemen. Therefore, these construction components are particularly important for ensuring fire safety by limiting the spread of fire. The source literature presents examples of studies related to the impact of high temperatures on glass partitions [3, 4, 5, 6, 7, 8]. In many cases, it is demonstrated that the fire resistance of the partitions is affected not only by the type and thickness of fire-resistant glass, but also by the manner of attachment, the type of supporting profiles and the insulation and sealing materials used [9, 10].

Wprowadzenie

Liczba pożarów obiektów budowlanych w Polsce, pomimo rygorystycznych wymagań ochrony przeciwpożarowej i stosowania nowoczesnych rozwiązań, jest coraz wyższa (ok. 33 tys. w 2013 r. i 2014 r., a prawie 40 tys. w 2017 r. i 38 tys. w 2018 r.). Ze szczegółowych statystyk prowadzonych przez Komendę Główną Państwowej Straży Pożarnej wynika, że pożary budynków użyteczności publicznej stanowią ok. 7% pożarów obiektów budowlanych i ok. 2% wszystkich zdarzeń o charakterze pożaru, łącznie z pożarami lasów i gruntów rolniczych [1]. Mimo że pożary tego typu budynków nie występują często, ze względu na charakter użytkowania stanowią one duże zagrożenie dla ludzi. W tego rodzaju obiektach – szczególnie biurowych i usługowych – coraz częściej jako ściany działowe stosuje się przegrody przeszklone. Wydaje się, że ze względu na swoje atuty przegrody ze szkła nie mają obecnie konkurencji. O ich popularności decyduje możliwość doświetlenia pomieszczeń bez bezpośredniego dostępu do okien, bardzo dobra izolacja akustyczna, swoboda aranżacyjna (wygodniejsze rozwiązanie dla pracowników niż biurka ustawione w przestrzeni *open space*), a także warianty sposobu łączenia, jak i powiązania ze ścianami o innej konstrukcji. Inne ich zalety to nowoczesny design, możliwość kontaktu wzrokowego z innymi pracownikami czy pomieszczeniami z jednoczesną „własną” przestrzenią biurową, dającą duży komfort psychiczny pracy [2]. Ponieważ przegrody przeszklone są bardzo często stosowane właśnie w wysokich biurowcach, w których gaszenie pożaru jest utrudnione, mają bardzo duże znaczenie w zapewnieniu bezpieczeństwa pożarowego poprzez ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia. W literaturze przedmiotu mamy przykłady badań związanych z oddziaływaniem wysokich temperatur na przegrody przeszklone [3, 4, 5, 6, 7, 8]. W wielu przypadkach zwraca się uwagę, że na ich odporność ogniową wpływa nie tylko typ i grubość szkła ogniochronnego, ale również sposób jego mocowania, rodzaj profili nośnych czy użyte materiały izolacyjne i uszczelniające [9, 10].

Aims and methods of analysis

This article aims to present the differences between the various structural and material solutions for glass partition walls in the context of their fire resistance. Its main objective is to assess the safety of selected glass partitions on the basis of displacements caused by thermal radiation. Although frame displacements do not constitute a standard parameter [11] and they do not directly affect the evaluation of the element's performance as a fire barrier with a specific resistance, their registration is required [12]. The aforementioned parameters are of great importance for ensuring fire tightness defined as the ability of a given vertical glazed partition to withstand fire on one side, without transferring it to the non-heated side as a result of penetration of flames or hot gases [13]. In addition, one of the three components of fire tightness assessment include the formation of cracks or holes exceeding the permissible dimensions [13] – this type of damage may be caused by frame deflection. At the same time, the displacement values are taken into account to increase the dimensions of the structure in relation to the size of the tested component.

The initial stage involved the development of an original design for a frameless glass partition. That partition was subjected to fire tests [14] carried out in the research laboratory at Certbud Sp. z o.o. The tests were performed in a brick test furnace made of refractory bricks, covered with a 5 cm layer of ceramic material on the inside. The layer served as thermal insulation and protected the interior walls of the furnace against damage. The tested component was built in as the front wall. The test conditions, i.e. temperature increase, pressure and atmosphere of the furnace, as well as ambient temperature, were all set in accordance with the requirements of item 5 of the PN-EN 1363-1 standard [15]. All displacements were recorded in similar time intervals using one of two measurement methods. The first method consisted of stretching a red wire across the entire width of the partition and measuring the distance to the surface of the test piece for each of the selected points. The difference between the obtained measurements during the test represented the size of the displacement of the test piece. The second method was based on the use of a laser rangefinder, which recorded the changing deflection over time. The procedures remained compliant with the PN-EN 1363-1, PN-EN 1364-1 standards concerning fire resistance tests for non-load bearing elements [12, 15].

The obtained deflection test results for each partition were compared with other vertical glass elements of similar dimensions. The summary of the test results also included the results of fire test reports of glass partition walls framed in wood, aluminium and steel constructions, as retrieved from Polflam archives [16].

The presented analysis should be regarded as a case study, since it is based solely on the analysis of events (fire tests of select four glazed partitions). The criteria for their selection included: similar dimensions, diverse materials of partition wall frames, diverse solutions for joining glass panels and various glass thickness.

Cel i metody analizy

Celem artykułu było ukazanie różnic pomiędzy rozwiązaniami konstrukcyjno-materiałowymi przeszklonych ścian działowych w kontekście ich odporności ogniowej. Za główny cel obrano ocenę bezpieczeństwa wybranych przegród przeszklonych na podstawie wartości ugięć powstających pod wpływem działania promieniowania cieplnego. Pomimo że odkształcenia ram nie stanowią normowego parametru [11] i nie mają bezpośredniego wpływu na ocenę skuteczności funkcjonowania elementu jako bariery o określonej odporności ogniowej, to ich rejestracja jest wymagana [12]. Uznano, że powyższe parametry mają duże znaczenie przy zachowaniu szczelności ogniowej, rozumianej jako zdolność danej pionowej przegrody przeszklonej do wytrzymania oddziaływania ognia z jednej strony, bez przeniesienia go na stronę nienagrzewaną w wyniku przeniknięcia płomieni lub gorących gazów [13]. Dodatkowo jednym z trzech aspektów oceny szczelności ogniowej jest wystąpienie pęknięć lub otworów przekraczających dopuszczalne wymiary [13] – ugięcia ram mogą być powodem powstania takich uszkodzeń. Jednocześnie wartości deformacji są parametrem rozpatrywanym w kontekście zwiększenia wymiarów konstrukcji w stosunku do wielkości badanego elementu.

Wstępnym etapem było zaprojektowanie autorskiego rozwiązania bezramowej konstrukcji przegrody przeszklonej. Przegrodę tę poddano badaniom ogniowym [14], które przeprowadzono w laboratorium badawczym Certbud Sp. z o.o. Badanie wykonano w piecu badawczym, murowanym z cegieł szamotowych obłożonych od wnętrza ok. pięciocentymetrową warstwą materiału ceramicznego, który jest termicznym izolatorem oraz osłoną przed uszkodzeniami wewnętrznych ścian pieca. Przednią ścianę stanowił wbudowany element próbny. Warunki wykonania badania tj. przyrost temperatury, ciśnienie i atmosfera pieca oraz temperatura otoczenia były zgodne z wymogami punktu 5 normy PN-EN 1363-1 [15]. Ugięcia zostały zarejestrowane i zapisywane w zbliżonych przedziałach czasowych z zastosowaniem jednej z dwóch metod pomiaru. Pierwsza z nich polegała na rozpięciu żyłki na całej szerokości przegrody i zmierzeniu odległości do powierzchni elementu próbnego dla każdego z wytypowanych punktów. Różnica wynikająca z pozyskanych pomiarów w trakcie badania stanowiła informację o wielkości deformacji elementu próbnego. Druga metoda opierała się na zastosowaniu dalmierza laserowego, który rejestrował zmieniające się ugięcie w czasie. Procedury były zgodne z normami PN-EN 1363-1, PN-EN 1364-1 dotyczącymi badań odporności ogniowej elementów nienośnych [12, 15].

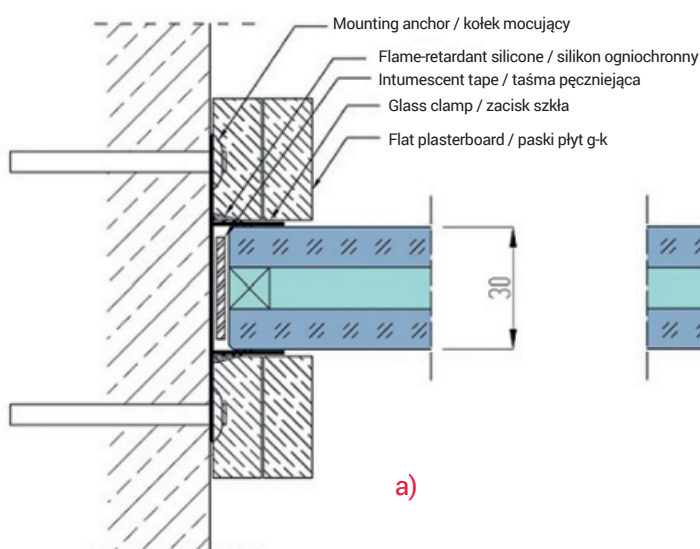
Otrzymane wyniki ugięć danej przegrody porównano z wynikami innych pionowych, ramowych elementów przeszklonych o zbliżonych gabarytach. Do zestawienia przyjęto dane zawarte w raportach badań ogniowych przeszklonych ścian działowych w konstrukcji ramowej wykonanej z drewna, aluminium i stali, zaczerpnięte z archiwalnych zasobów Polflamu [16].

Przedstawioną analizę należy uznać za studium przypadku, ponieważ bazuje na analizie zdarzeń (były nimi badania ogniowe wybranych czterech przegród przeszklonych). Kryteriami ich wyboru były: zbliżone wymiary, zróżnicowany materiał ram przegrody, zróżnicowane rozwiązania łączenia tafli szkła oraz grubość szkła.

Characteristics of analysed items

Glass partition walls without profiles (Structure 1)

The designed glass wall was made of 30 mm thick glass, consisting of two layers of tempered glass with a thickness of 10 mm separated by a 10 mm layer of flame-retardant gel. This thickness resulted from the necessity to maintain the required stability of the partition with the lack of profiles connecting the adjacent glasses. The locking element on the partition wall was manufactured using special clamps made of thin steel sheet. The clamps were placed in specific points, fixed to the surface using mounting anchors. The bending of the clamps on both sides of the glass provides appropriate stability. The use of a 2×20 mm intumescent seal ensures adequate tightness around the perimeter of the glass. The gaps between the edge of the opening and the glass have been closed with flame-retardant silicone on both sides of the opening. The proposed design also includes two fireproof plasterboard strips with a total thickness of 25 mm. This allows the glass to be attached symmetrically and provides additional protection for the panel fixing points (fig. 1a).



Charakterystyka analizowanych obiektów

Przegroda przeszklona bezprofilowa (Obiekt 1)

W zaprojektowanej przeszklonej ścianie zaproponowano zastosowanie szkła o grubości 30 mm, złożonego z dwóch warstw szkła hartowanego o grubości 10 mm oraz 10 mm warstwy żelu ogniochronnego pomiędzy nimi. Grubość ta wynikała z konieczności zachowania wymaganej stateczności przegrody przy jednoczesnym braku profili łączących sąsiednie przeszklenia. Mocowanie na obwodzie przegrody wykonano z zastosowaniem specjalnych zacisków wykonanych z cienkiej stalowej blachy. Zostały one umieszczone punktowo i zamocowane do podłoża w sposób trwały z wykorzystaniem kołków mocujących. Zagięcie wydzielonych części zacisków na obie strony szyb pozwala na ich ustabilizowanie. Użycie uszczelki pęczniającej o przekroju 2×20 mm ma zapewnić szczelność na obwodzie układu szyb. Powstałe szczeliny pomiędzy krawędzią otworu a szkłem zostały zamknięte silikonem ogniochronnym po obu jego stronach. W proponowanym układzie występują również po dwa paski ognioodpornej płyty gipsowo-kartonowej o łącznej grubości 25 mm. Pozwala to na symetryczne mocowanie szkła oraz dodatkową osłonę miejsca mocowania tafli (ryc. 1a).

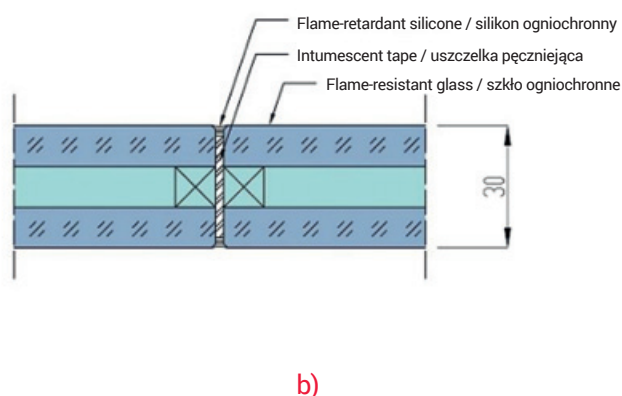


Figure 1. Cross-section of external (a) and internal (b) frameless construction connections

Rycina 1. Przekrój połączeń konstrukcji bezramowej a) zewnętrznego b) środkowego

Source: Own elaboration based on technical data.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych technicznych.

Only vertical connections were present between the adjacent glass panes. Their tightness – similarly as in the case of side fixing – was ensured using intumescent tape, and the gap at the glass joint was filled with flame retardant silicone (fig. 1b).

Glass partition with wooden frames (Structure 2)

The profiles of the partition were manufactured using glued laminated wood with a density of 550 kg/m^3 , additionally pressure-impregnated with a salt-based water agent. The 20 mm-thick

Miedzy sąsiednimi taflami szkła występowały jedynie połączenia pionowe. Ich szczelność – podobnie jak w przypadku mocowania bocznego – zapewniona została dzięki umieszczeniu taśmy pęczniającej, a zamknięcie powstałej szczeliny na styku szyb wykonane zostało przy użyciu silikonu ogniochronnego (ryc. 1b).

Przegroda przeszklona z ramami drewnianymi (Obiekt 2)

Profile zostały wykonane z drewna klejonego o gęstości 550 kg/m^3 , dodatkowo zaimpregnowanego ciśnieniowo prepa-

fire-resistant partition glass is made of two layers of 5 mm toughened glass with 10 mm thick flame-retardant gel placed between the layers. The construction is placed inside a structure made of 68 mm scantling timber. A wooden profile (glass clip) was used for fixing. It was located along the sides of each glazing and attached to the main frame with screws, which provided a durable and stable fixing for the glass. In each case, the glass panel was protected with a 2×20 mm intumescent tape, while the side edges of the pane were insulated with a strip of additional ceramic material located at the wood joints, additionally protected with a layer of flame-retardant silicone (fig. 2a). The adjacent glass panes were joined using two identical wooden profiles, while a plasterboard insert was placed at the joint (fig. 2b).

ratem wodnym na bazie soli. Szyby ogniochronne o grubości 20 mm zbudowane z dwóch warstw szkła hartowanego o grubości 5 mm oraz 10 mm warstwy żelu ogniochronnego między nimi, utrzymywano w konstrukcji wykonanej z kantówek o szerokości 68 mm. Do mocowania zastosowano drewniany profil (tzw. klipsz szklący). Był on zlokalizowany wzdłuż boków każdego przeszklenia i przytwierdzony do głównej ramy przy pomocy wkrętów, co zapewniało trwałe i stabilne mocowanie przeszkleń. W każdym przypadku czoło szyby zabezpieczono taśmą pęczniącą o przekroju 2×20 mm, natomiast krawędzie boczne szyb, na styku z ramą drewnianą, wyizolowano przy pomocy paska dodatkowego materiału ceramicznego, którego zabezpieczenie stanowiła warstwa silikonu ogniochronnego (ryc. 2a). Łączenie sąsiednich tafli szkła wykonano przy zastosowaniu dwóch identycznych profili drewnianych, a w miejscu ich styku zastosowano wkładkę wykonaną z płyty gipsowej (ryc. 2b).

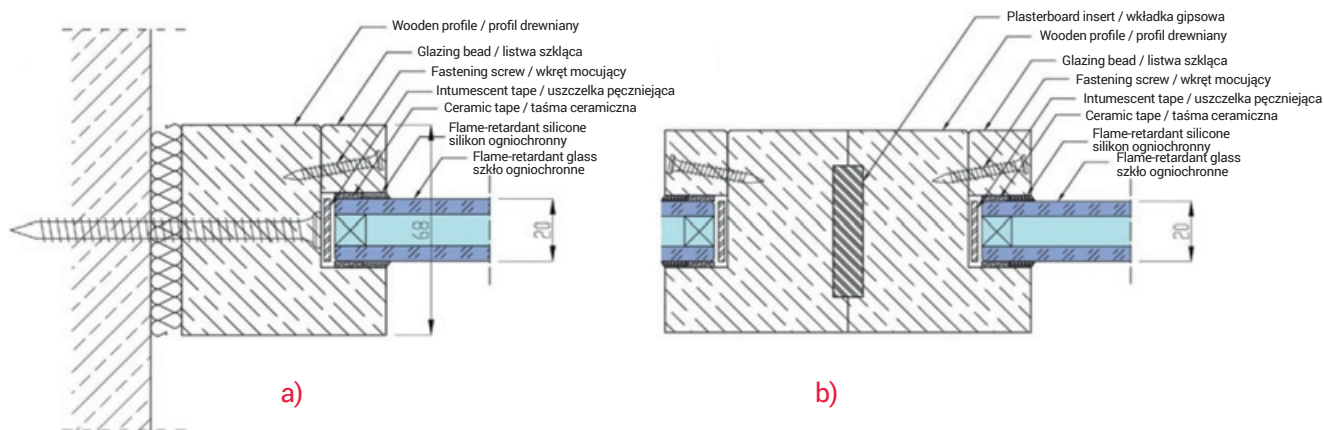


Figure 2. Cross-section of external (a) and internal (b) wooden construction connections

Rycina 2. Przekrój połączeń konstrukcji drewnianej a) zewnętrznego b) środkowego

Source: Own elaboration based on technical data.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych technicznych.

Glazed partition with aluminium frames (Structure 3)

Aluminium profiles were joined together by connectors or by bending appropriate elements to create a frame. The window was divided into several glazing units, and the largest had a size of 1500×3000 mm. The main, 78 mm-thick, profiles consisted of two sections connected by a spacer made of reinforced plastic. The profile had a symmetric design which allowed axial fixation of the 20 mm-thick fire-resistant glass similar in design to Structure 2. The internal chamber was filled with plasterboard strips to limit the penetration of temperature to the non-heated side (fig. 3a).

The partition glass was kept inside the frames by steel brackets installed at certain points along the edges. An active 2×20 mm seal expanding under heat was placed in the profiles along the outer edge of the glass, and on the profiles running around the perimeter of the glass, an active 2×20 mm gasket was used, which increases in volume when exposed to heat (fig. 3b).

Przegroda przeszklona z ramami aluminiumowymi (Obiekt 3)

Profile aluminiowe zespolono za pomocą łączników lub poprzez zagniatanie odpowiednich elementów, tworząc ramę. Witryna była dzielona na kilka przeszkleń, z których największe miało wymiary 1500×3000 mm. Główne profile o grubości 78 mm składały się z dwóch kształtowników połączonych za pomocą tzw. przekładki wykonanej ze zbrojonego tworzywa sztucznego. Taki profil charakteryzował się symetryczną budową i pozwalał na osiowe zamocowanie szkła ogniochronnego o grubości 20 mm i budowie jak w obiekcie 2. Środkową komorę wypełniono paskami płyty gipsowo-kartonowej dla ograniczenia przenikania wysokich temperatur na stronę nienagrzewaną (ryc. 3a).

Przeszklenia utrzymywano w ramach za pomocą stalowych kątowników umieszczonych punktowo wzdłuż krawędzi, a na profilach biegnących po obwodzie szyb zastosowano aktywną uszczelkę o przekroju 2×20 mm, która zwiększa swoją objętość podczas działania wysokiej temperatury (ryc. 3b).

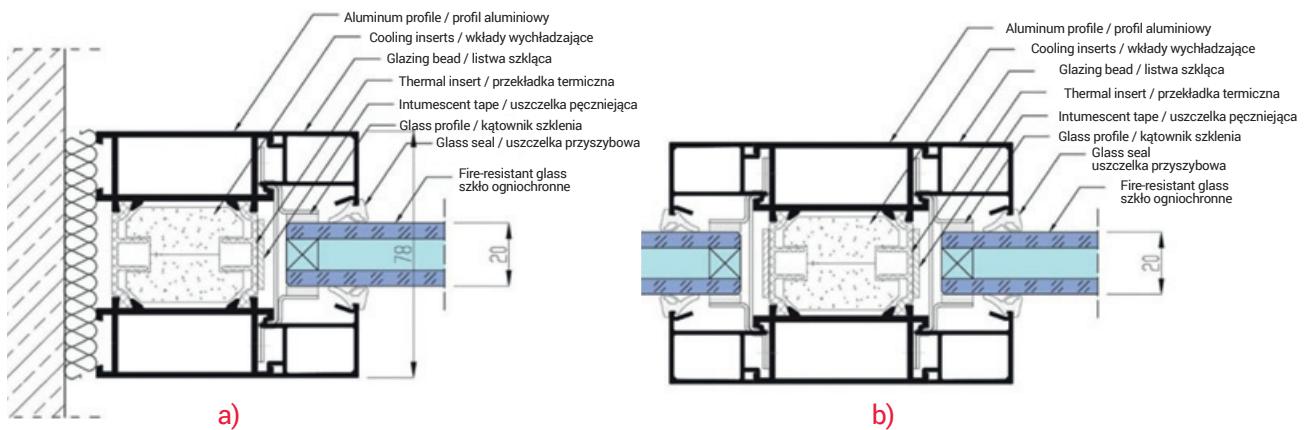


Figure 3. Cross-section of external (a) and internal (b) aluminum construction connections

Rycina 3. Przekrój połączeń konstrukcji aluminiowej a) zewnętrznego b) środkowego

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych technicznych.

Source: Own elaboration based on technical data.

Glazed partition with steel frames (Structure 4)

The last partition (structure 4) had steel profiles manufactured from bent C-shaped steel sheets connected by thermal inserts. Mechanically folded sheet metal elements were used to join all the components together, creating a 60 mm-thick profile. The two chambers created in that manner were filled with fire-resistant plasterboards to reduce the temperature on the non-heated side. Single-sided steel glazing beads were used to attach the 20 mm glass (design as per structure 2) in the frame (the largest with the size of 1500 x 300 mm), located on the perimeter gaps. The edges on the other side were held in place on an adequately formed main profile. Ceramic tapes were used at the steel element joints. The tightness between the glass and the steel construction was secured with a 2 x 15 mm intumescent tape. Adjacent glass panels were connected using profiles with a design similar to the side profile (fig. 4).

Przegroda przeszklona z ramami stalowymi (Obiekt 4)

W ostatniej przeszklonej witrynie profile stalowe (obiekt 4) wykonano z odpowiednio wygiętej stalowej blachy o przekroju w kształcie litery C. Połączono je poprzez zastosowanie przekładki termicznej. Maszynowe zagniatanie krawędzi blachy spoili elementy w całość, tworząc kształtownik o grubości 60 mm. W powstałych w ten sposób dwóch komorach umieszczono wkłady wykonane z ognioodpornych płyt gipsowo-kartonowych mających za zadanie zmniejszenie wzrostu temperatury na stronie nienagrzewanej. Do zamocowania szyb (o grubości 20 mm i budowie jak w obiekcie 2) w ramie (największa o wymiarze 1500 x 3000 mm) wykorzystano jednostronne stalowe listwy szklące, które biegły po obwodzie otworów. Ich krawędzie z drugiej strony opierały się na przyldze wytworzonej z odpowiednio uformowanego głównego profilu. W miejscu styku stalowych elementów z obojma powierzchniami szkła użyto taśm ceramicznych, a w celu zapewnienia szczelności połączenia szyb z konstrukcją stalową zastosowano uszczelkę pęczniącą o przekroju 2 x 15 mm. Połączenie sąsiednich przeszkleń zapewniono przez zastosowanie profili o budowie podobnej do profilu bocznego (ryc. 4).

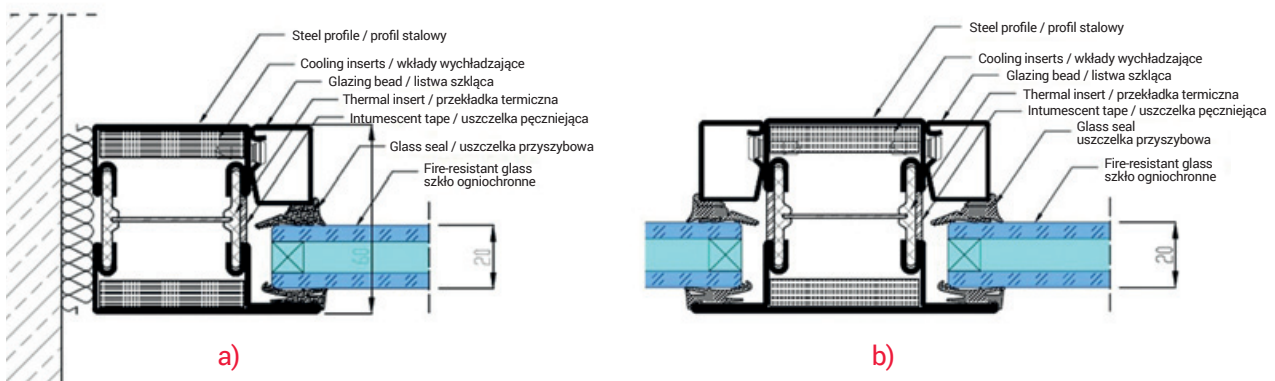


Figure 4. Cross-section of external (a) and internal (b) steel construction connections

Rycina 4. Przekrój połączeń konstrukcji stalowej a) zewnętrznego b) środkowego

Source: Own elaboration based on technical data.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych technicznych.

Results

Displacements of frames and glass partitions are presented in table 1. The displacements were measured at four specific points (points A–D). These points were selected in accordance with the PN-EN-1364-1 standard [12]. They are of particular importance for maintaining fire-thightness qualities during fire hazard. Figure 5 shows the location of the measurement points for each structural solution.

Wyniki

Odkształcenia ram i połączeń przeszkleń zostały zaprezentowane w tabeli 1. Pomiary odkształceń wykonano w czterech charakterystycznych miejscach (punkty A–D). Zostały one wytypowane zgodnie z zapisami normy PN-EN-1364-1 [12]. Są to punkty, które mają bardzo duże znaczenie w utrzymaniu szczelności ogniowej podczas pożaru. W zależności od rozwiązań konstrukcyjnych lokalizację miejsc pomiarowych ukazuje rycina 5.

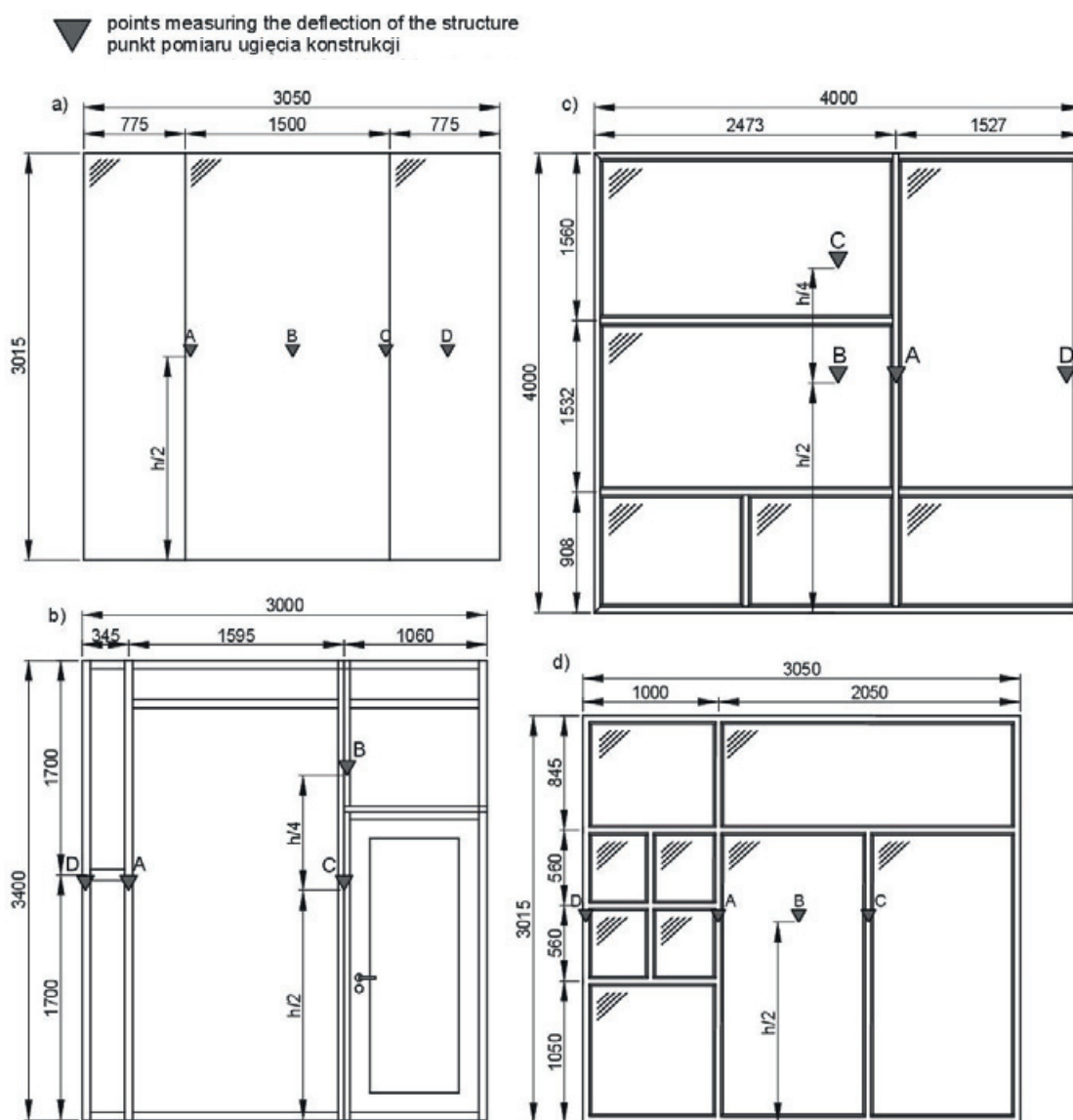


Figure 5. Scheme of glazed partitions and the distribution of measurement points in accordance with table 1 a) structure 1, b) structure 2, c) structure 3, d) structure 4

Rycina 5. Schemat przeszklonych przegród oraz rozmieszczenie punktów pomiarów zgodnie z tabelą 1, a) obiekt 1, b) obiekt 2, c) obiekt 3, d) obiekt 4

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Table 1. Displacement values in the analyzed glass partitions**Tabela 1.** Wartości przemieszczeń w analizowanych przegrodach przeszklonych

Time / Czas [min]	Structure number / Numer obiektu															
	1				2				3				4			
	Displacement in measurement locations according to fig. 5 [mm] / Przemieszczenie w miejscach pomiaru zgodnie z ryc. 5															
	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D	A	B	C	D
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	-1*	1	0	2	-1	-2	1	-2	25	29	29	50	174	184	186	32
20	0	2	2	3	-2	-4	-2	-2	17	18	16	49	195	190	180	92
25	1	2	3	3	-4	-6	-4	-3	8	12	11	48	200	189	176	89
30	1	2	3	3	-5	-11	-8	-3	7	13	11	47	204	191	175	90

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

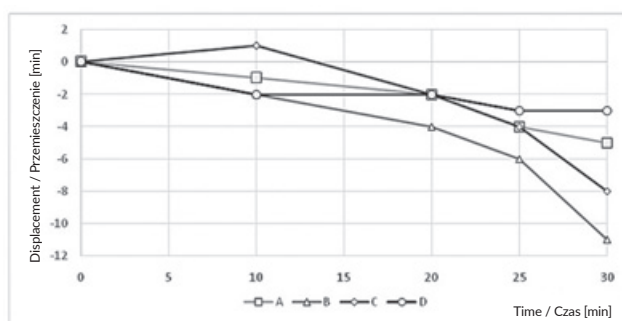
Source: Own elaboration based on test results.

* positive values represent the displacement towards the inside of the furnace, negative values represent the displacements in the outer direction

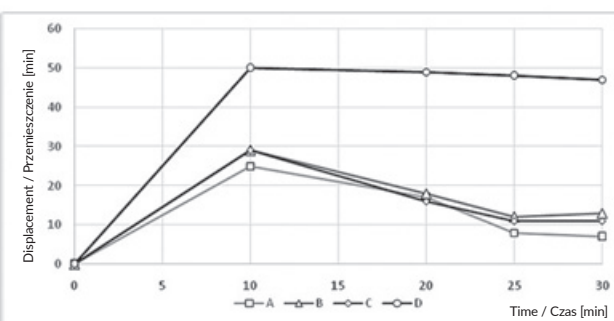
* wartości dodatnie określają deformację do wnętrza komory pieca, natomiast ujemne w kierunku zewnętrznym

The glass partition with wooden profiles was characterized by a slight initial displacement of up to 3 mm. Over time, the displacement increased steadily in the outer direction until it reached a maximum value of 11 mm. The parameters taken at measuring point were similar with a tolerance of ± 4 mm (fig. 6a). The partition made of aluminium profiles was significantly deformed towards the interior of the furnace during the first 10 minutes of the test. The maximum value of 50 mm has been measured at a point close to the unrestrained edge. It differs from the other results, as the profile is not rigidly fixed to the test frame, allowing it to move freely. By the end of the test, the structure reduced its displacement to approximately 10 mm at its central section (fig. 6b).

Witryna o profilach drewnianych charakteryzowała się niewielkim ugięciem początkowym sięgającym 3 mm. Wraz z upływem czasu ugięcie systematycznie powiększało się w kierunku zewnętrznym, by osiągnąć maksymalną wartość 11 mm. Odczytywane parametry dla każdego miejsca pomiarowego były zbliżone z uwzględnieniem tolerancji ± 4 mm (ryc. 6a). Przegroda zbudowana z profili aluminiowych uległa znacznemu odkształceniu w kierunku do wnętrza pieca w pierwszych 10 minutach badania. Maksymalna wartość 50 mm została zmierzona w punkcie zlokalizowanym w niewielkiej odległości od krawędzi wolnej. Różni się ona od pozostałych wyników z uwagi na brak sztywnego mocowania profilu do ramy badawczej, co umożliwia jego swobodny ruch. Wraz ze zbliżaniem się do końca przewidzianego czasu trwania testu konstrukcja zmniejszała swoje odkształcenie, osiągając ok. 10 mm dla punktów zlokalizowanych w jej środkowej części (ryc. 6b).



a)



b)

Figure 6. Changes of displacements at points A–D in structures 2 and 3**Rycina 6.** Zmiany przemieszczeń w punktach A–D w obiektach 2 i 3

Source: Own elaboration based on test results.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

The partition with steel profiles was significantly deformed towards the interior of the chamber at the initial stage of the test. After 10 minutes, the points located at the centre of the partition reached the highest values, exceeding 180 mm. The result was maintained at the same level until the end of the test, with a tolerance of ± 10 mm. The results taken at measuring point A of the steel partition differed significantly in relation to the other partitions. This difference can be attributed to its location on the profile located at the unrestrained edge. That component of the structure can move freely due to the use of mineral wool with a thickness of 50 mm, which also seals the construction during displacement. The profile in contact with wool was partially cooled by the wool, and the steel crossbars connected with it increased its rigidity. Both factors helped reduce the displacements occurring in this part of the glass partition in relation to the remaining parts of its surface (fig. 7a). In the partition with a frameless system for fixing glass, where the measurement points were located only on the surface of the glass, the displacements occurring in the initial stage of the test did not exceed 2 mm towards the inside of the furnace. Over time, the displacements increased slightly by 1 mm. The highest observed value of 3 mm was measured at a point located close to the unrestrained edge (fig. 7b).

Witryna o profilach stalowych charakteryzowała się dużym wzrostem ugięcia w początkowym czasie badania w kierunku do ognia. Po upływie 10 minut wartości z punktów umieszczonych w środkowej części przegrody osiągnęły najwyższe wskazania, przekraczając 180 mm. Wynik utrzymywał się do końca testu na równym poziomie z tolerancją ± 10 mm. Odczyty dla punktu pomiarowego A przegrody stalowej były odmienne od pozostałych. Różnica wynikała z jego umiejscowienia na profilu stanowiącym krawędź wolną. Swoboda ruchu tej części konstrukcji zapewniono poprzez zastosowanie wełny mineralnej o grubości 50 mm, która gwarantowała zachowanie szczelności podczas deformacji. Profil stykający się z wełną był częściowo przez nią wychładzany, a łączące się z nim stalowe poprzeczki zwiększały jego sztywność. Oba czynniki pozwoliły na zredukowanie zniekształceń występujących w tej części witryny w porównaniu do pozostałej jej powierzchni (ryc. 7a). W zaprojektowanej witrynie z bezramowym mocowaniem przeszkleń, w której punkty pomiarowe rozmieszczone zostały jedynie na powierzchni szkła, ugięcia występujące w początkowej fazie badania nie przekraczały 2 mm w kierunku do wnętrza pieca. Wraz z upływem czasu zaobserwowano nieznaczny wzrost deformacji sięgający ok. 1 mm. Największą zaobserwowaną wartość 3 mm odczytano z punktu zlokalizowanego w bliskiej odległości od krawędzi wolnej (ryc. 7b).

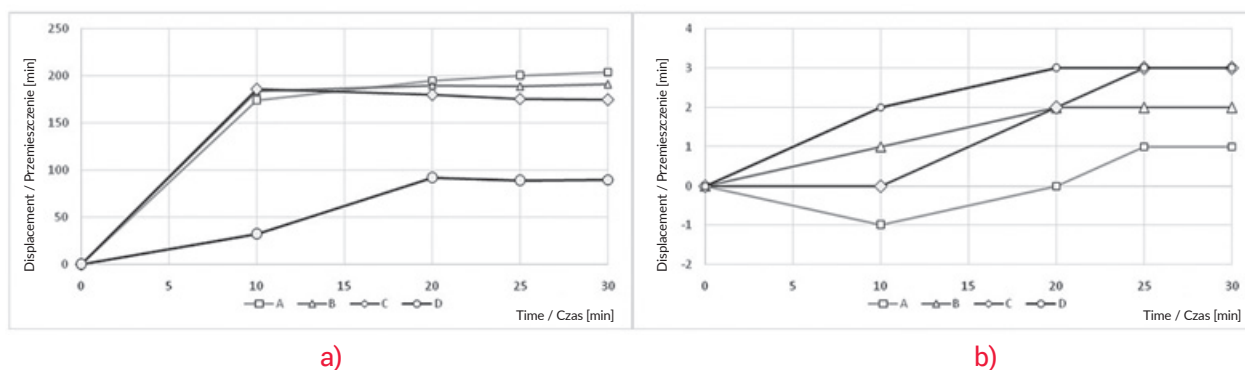


Figure 7. Changes of displacements at points A–D in structures 4 and 1
Rycina 7. Zmiany przemieszczeń w punktach A–D w obiektach 4 i 1

Source: Own elaboration based on test results.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Conclusions and summary

Based on comparative analysis, it was established that a structure made of steel sections was the most susceptible to displacement in high temperatures caused by fire. The displacements significantly differed from the results obtained for other partitions. The smallest displacements during fire tests were observed in the case of the frameless partition and the partition with wooden profiles (fig. 8).

It must be noted that all of the tested partitions have met relevant fire resistance requirements, reaching class EI 30 in 30 minutes.

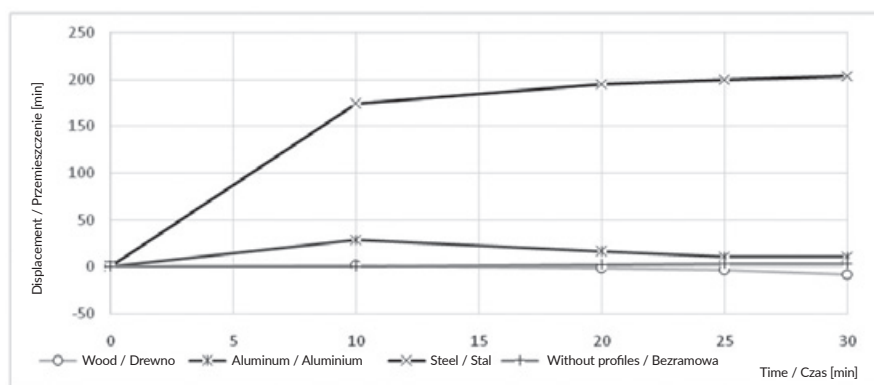
Wnioski i podsumowanie

Na podstawie analizy porównawczej stwierdzono, że konstrukcja wykonana z kształtowników stalowych cechowała się największą podatnością na ugięcie pod wpływem wysokiej temperatury spowodowanej działaniem ognia. Występujące deformacje znacząco odbiegały od wyników otrzymanych dla pozostałych przegród. Najmniejsze ugięcia w trakcie badań ogniowych zaobserwowano dla przegrody bezramowej oraz przegrody zbudowanej z profili drewnianych (ryc. 8).

Należy zaznaczyć, że wszystkie badane konstrukcje spełniły stawiane wymagania odporności ogniowej, w czasie 30 min, osiągając klasę EI 30.

The analysis unequivocally showed that material and structural solutions used for manufacturing the profiles connecting protective glass have a significant impact on fire tightness. The types of connections which are subject to minor displacements impact on the stability of the partition and help to prevent smoke from spreading (which is often more hazardous than fire in the adjacent spaces). The proposed solutions – with the exception for steel profiles – can be considered satisfactory in terms of displacement values. Out of the tested solutions, the most effective was direct connection of the fire-resistant glass panels without the use of material profiles.

Przeprowadzona analiza jednoznacznie ukazała, że rozwiązania materiałowo-konstrukcyjne profili łączących szkło ochronne mogą mieć znaczący wpływ na szczelność ogniową. Typy połączeń, w których występowały niewielkie odkształcenia, wpływają na zachowanie stateczności przegrody i zabezpieczają przed rozprzestrzenianiem się dymu (który często jest groźniejszy niż pożar w sąsiednich pomieszczeniach). Zaproponowane rozwiązania – za wyjątkiem profili stalowych – można uznać za zadowalające pod kątem wartości przemieszczeń. W zestawieniu zdecydowanie najkorzystniej wypadła konstrukcja bezpośrednio łącząca tafle szkła ogniochronnego bez zastosowania profili materiałowych.



Rycina 8. Porównanie maksymalnych przemieszczeń na profilach wewnętrznych w zależności od ich konstrukcji

Figure 8. Comparison of maximum displacements on internal profiles depending on their construction

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań.

Source: Own elaboration based on test results.

Literature / Literatura

- [1] Dane statystyczne KG PSP (www.kgsp.gov.pl, dostęp 28.06.2019)
- [2] Mickiewicz E., *Szklane ściany działowe w biurach*, „Świat Szkła” 2010, 5, 36–39.
- [3] Laskowska Z., Kosiorek M., *Bezpieczeństwo pożarowe ścian działowych przeszklonych: badania i rozwiązania*, „Świat Szkła” 2007, 108 (5), 46–54.
- [4] Laskowska Z., Borowy A., *Rozszerzone zastosowanie wyników badań odporności ogniowej ścian działowych przeszklonych wg PN-EN 15254-4*, „Materiały Budowlane” 2012, 7(479), 62–64.
- [5] Sędlak B., Sulik P., *Odporność ogniowa pionowych elementów przeszklonych*, „Szkło i Ceramika” 2015, 5, 8–10.
- [6] Sulik P., Sędlak B., *Odporność ogniowa pionowych przegród przeszklonych. Część 2*, Świat szkła, Nr 9, 2015, 31–35.
- [7] Sulik P., Sędlak B., *Ochrona przeciwpożarowa w przegrodach wewnętrznych*, „Izolacje” 2015, 9, 30–34.
- [8] Sulik P., Sędlak B., *Wybrane aspekty oceny odporności ogniowej przeszklonych elementów oddzielenia przeciwpożarowego*, „Journal of Civil Engineering, Environment and Architecture” 2017, 34(64), 17–29, <https://doi.org/10.7862/rb.2017.100>.
- [9] Kinowski J., Sędlak B., Sulik P., *Izolacyjność ogniowa aluminiowo szklanych ścian osłonowych w zależności od sposobu wypełnienia profili szkieletu konstrukcyjnego*, „Izolacje” 2015, 20(2), 48–53.
- [10] Sulik P., Sędlak B., *Odporność ogniowa pionowych przegród przeszklonych. Część 1*, „Świat Szkła”, 2015, nr 7–8, 37–43.
- [11] PN-EN 13501-2+A1:2010 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 2: Klasyfikacja na podstawie badań odporności ogniowej, z wyłączeniem instalacji wentylacyjnych.
- [12] PN-EN 1364-1:2015 Badania odporności ogniowej elementów przenośnych – Część 1: Ściany.
- [13] Kinowski J., Sulik P., Sędlak B., *Badania i klasyfikacja systemów pionowych przegród przeszklonych o określonej klasie odporności ogniowej*, BiTP Vol. 42, Issue 2, 2016, 135–140.
- [14] Raport z badań ogniowych witryny bezramowej nr 01/BZ/10/2018.
- [15] PN-EN 1363-1:2012 Badania odporności ogniowej – Część 1: Wymagania ogólne.
- [16] Raporty z badań ogniowych witryny w konstrukcji stalowej nr 02/Z/08/2013, aluminiowej nr 02/BZ/12/2012, drewnianej nr 01/BZ/09/2015.

KONRAD PODAWCA, PH.D. – lecturer at the Faculty of Civil and Environmental Engineering at the Warsaw University of Life Sciences.

MAREK PRZYWÓZKI, M.SC. ENG. – civil engineer, an employee of POLFLAM Sp. z o.o.

DR INŻ. KONRAD PODAWCA – adiunkt w Katedrze Inżynierii Budowlanej, Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska, Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie

MGR INŻ. MAREK PRZYWÓZKI – inż. budownictwa, pracownik firmy POLFLAM Sp. z o.o.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BITP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – zadanie finansowane w ramach umowy 658/P-DUN/2018 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

brig. Mariusz Feltynowski, Ph.D.^{a)*}; Michał Langner, M.Sc. Eng.^{b)}

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

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

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

The Role of EASeR Project in Enhancing Search and Rescue Teams Performance

Rola projektu EASeR w poprawie skuteczności działań grup poszukiwawczo-ratowniczych

ABSTRACT

Purpose: The aim of the article is to present the obstacles which constitute the so-called "barrier effect" while exploring the area of urban search and rescue operations on the first day after an earthquake. It also includes preliminary results of research conducted under the implementation project "EASeR", aimed at developing procedures and outlines for fire-fighters from Italy, helping them minimise the "barrier effect". They may also prove useful for other countries.

Introduction: In the introduction, the authors outline the circumstances of the establishing of the INSARAG International Search and Rescue Advisory Group at the UN and its European counterpart with a broader spectrum of responsibilities (the EU Civil Protection Mechanism), along with the legal basis for the organisation, as well as recall the international guidelines defining standards and methodologies for the Search and Rescue Groups (GPR). The mechanism is responsible not only for USAR but also for almost 20 types of different civil protection assets. The authors also recall the whole cycle of the GPR mission, along with examples of natural disasters and circumstances that have led to the launching of the EASeR project. Finally, the assumptions of the project and its partners are presented.

Methodology: The initial research material related to the subject matter in question included international UN and EU normative documents establishing the organisational and operational standards for the conduction of actions, and the operation of search and rescue groups (USAR), as well as exemplary EU implementation projects. The identification of the initial "obstacles limiting the conduction of initial assessments (ASR 1–3) at the scene of action, defined by Italian fire-fighters from Pisa as a "barrier effect", was the starting point for a wider analysis of the facts, and the development of a questionnaire and international surveys, using a diagnostic survey in over a dozen countries around the world.

Conclusions: The quantitative data and opinions on the main obstacles encountered during the disaster reconnaissance allowed the project experts to confirm or reject the pre-assumptions for the projected content of the final project documents, and during further meetings, it was possible to develop the final versions of operational procedures indexes for emergency services in Italy, as well as the index of guidelines for international USAR in the field of reconnaissance in the initial phase (the so-called ASR 1–3). After the consultation of the final project documents (procedures and guidelines), as a result of the collected opinions and further expert work, the second phase of the project was to take place.

Keywords: Urban Search and Rescue, barrier effect, INSARAG, earthquake, EASeR project

Type of article: case study – analysis of actual events

Received: 18.01.2019; **Reviewed:** 06.05.2019; **Accepted:** 30.06.2019;

Authors ORCID IDs: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Langner – 0000-0002-6847-4873;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 130–143, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.8>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie przeszkód składających się na tzw. „efekt bariery” podczas rozpoznawania terenu w ramach działań grup poszukiwawczo-ratowniczych w pierwszej dobie po trzęsieniach ziemi. Artykuł przedstawia także wstępne wyniki badań i dotychczasowe prace eksperckie związane z projektem wdrożeniowym „EASeR”, w ramach którego opracowane zostaną procedury i rekomendacje dla włoskich strażaków służące minimalizowaniu wspomnianego „efektu bariery”. Procedury te mogą stanowić także wsparcie dla innych krajów.

Wprowadzenie: We wstępie autorzy przedstawiają okoliczności utworzenia przy ONZ Międzynarodowej Grupy Doradczej ds. Poszukiwań i Ratownictwa INSARAG oraz jej europejskiego odpowiednika posiadającego szerszy zakres odpowiedzialności (Unijny Mechanizm Ochrony Ludności), podstawy prawne funkcjonowania tej organizacji. Przywołują także międzynarodowe wytyczne określające standardy i metodologię w zakresie grup poszukiwawczo-ratowniczych (GPR). Mechanizm odpowiada nie tylko za zakres modułów GPR, lecz też za ok. 20 typów różnych zasobów ochrony ludności. Autorzy przywołują również cały cykl trwania misji GPR oraz przykładowe katastrofy naturalne i okoliczności, które doprowadziły do projektu EASeR. Przedstawione zostały założenia projektu i jego partnerzy.

Metodologia: Wyjściowy materiał badawczy związany z problematyką stanowiły międzynarodowe dokumenty normatywne ONZ i UE ustanawiające standardy organizacyjne i operacyjne dla działania akcji i grup poszukiwawczo-ratowniczych (GPR) oraz przykładowe zrealizowane unijne projekty wdrożeniowe związane z problematyką projektu. Identyfikacja wstępnych „przeszkód” ograniczających prowadzenie rozpoznania wstępnego (ASR 1–3) na miejscu akcji, określona przez strażaków włoskich z miasta Pisa jako „efekt bariery”, była punktem wyjścia do dokonania szerszej analizy stanu faktycznego, opracowania kwestionariusza ankiety i przeprowadzenia międzynarodowych badań metodą sondażu diagnostycznego w kilkunastu krajach na całym świecie.

Wnioski: Uzyskane w badaniu sondażowym dane ilościowe oraz opinie na temat głównych przeszkód podczas rozpoznania po katastrofie pozwoliły ekspertom projektu potwierdzić lub odrzucić przyjęte wstępnie założenia do projektowanych treści końcowych dokumentów projektowych, a w czasie dalszych spotkań umożliwiły opracowanie końcowych wersji indeksów procedur operacyjnych dla służb ratowniczych we Włoszech, a także indeksu wytycznych dla międzynarodowych GPR w zakresie prowadzenia rozpoznania we wstępnej fazie (tzw. ASR 1–3).

Słowa kluczowe: grupa poszukiwawczo-ratownicza, efekt bariery, INSARAG, trzęsienie ziemi, projekt EASeR

Typ artykułu: studium przypadku – analiza zdarzeń rzeczywistych

Przyjęty: 18.01.2019; **Zrecenzowany:** 06.05.2019; **Zatwierdzony:** 30.06.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Feltyński – 0000-0001-5614-8387; M. Langner – 0000-0002-6847-4873;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 130–143, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.8>;

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

Introduction

The International Search and Rescue Advisory Group (INSARAG) was established in 1991 following the indications of the specialised Urban Search and Rescue (USAR) teams that operated together in the Mexican earthquake of 1985 and the Armenian earthquake of 1988. INSARAG is a humanitarian inter-governmental network of disaster managers and USAR practitioners, operating under the umbrella of the United Nations (UN) [1].

United Nations General Assembly Resolution 57/150 of 16 December 2002 on ‘Strengthening the effectiveness and coordination of international urban search and rescue assistance’ is a product of the work of the INSARAG that pursued its creation. This United Nations General Assembly Resolution makes many pertinent points central to the work of the INSARAG. It also endorses the INSARAG Guidelines and Methodology [2]. The tasks of the INSARAG are to improve efficiency in cooperation with international USAR teams working in collapsed structures, to strengthen the national USAR capacities, and to develop internationally accepted USAR procedures, guidelines and best practices.

A similar standardisation, as the INSARAG created for international USAR teams (heavy, medium) globally, was established within the framework of the Union Civil Protection Mechanism [UCPM] under decision No. 1313/2013/EU of the European Parliament and of the Council of 17 December 2013 [3] for the so-called civil protection modules for international missions of around twenty types of units (including, respectively, USAR heavy and medium modules). The UCPM is responsible for broader coordination of rescue and civil protection assistance of all the states participating in the Mechanism, as well USAR modules. Medium and heavy USAR teams undergo a process of international external classification [IEC] which confirms achieving the minimum standard for working in an international environment according to the INSARAG guidelines (vol. II, manual C of the Guidelines – IEC/Rs Guide). Light USAR teams were initially considered resources for national missions, but later on (after the Haiti 2010 and Nepal 2015 earthquakes), at the INSARAG Secretariat located in OCHA Geneva, that approach was changed, and during the highest stra-

tegic decision-making annual meeting of the INSARAG Steering Committee [ISC] in February 2018 the decision about the classification of light teams was confirmed.

During a USAR mission, there are the following 5 standard phases:

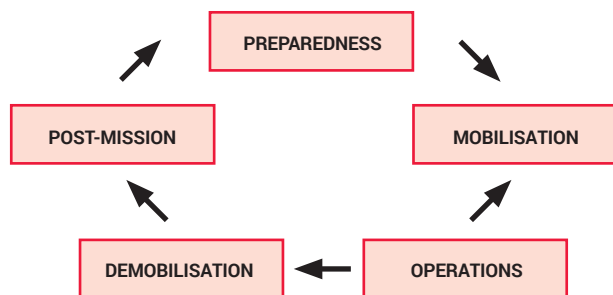


Figure 1. INSARAG International USAR Response Cycle

Source: Own elaboration based on INSARAG Guidelines, Vol. I, page 16.

The initial 36–48 hours after an earthquake are crucial for saving the injured people from debris. Later on, the chances for survival decrease dramatically. Therefore, the proper and timely assessment during urban search and rescue operations constitutes the key element of each emergency response, because it helps to prioritise the needs, to scale and adapt the relevant resources, and finally to effectively manage the operations. Each delay results in further issues that, in the end, reduce the chances for the victims trapped under the rubbles to be saved. There are a few earthquake prone countries in Europe that experience these problems during large-scale emergencies [4], [5], [6].

It seems enough to mention Italy which has been affected several times since the last significant earthquake in l'Aquila in 2009. The majority of them hit Central Italy, like the Amatrice village in August 2016, or Rigopiano in January 2017, where the avalanche triggered by a series of earthquakes destroyed a luxurious hotel. The same major obstacles to carry out the recce in an effective way appeared in each case. They have been named by Italian fire-fighters as “barrier effects.” In the case of the Amatrice site, a major difficulty was represented by a wide area located up in the hills, with a narrow road leading to the village and hundreds of missing persons, whereas in the Rigopiano site, the area was more circumscribed but not visible, and with relevant accessibility limits, because of heavy snow, up to 5 meters.

The other “barriers” met by Italian rescuers were related to the relevant data collection, helicopters deployment and the lack of dedicated software for topography survey of the destroyed buildings. Additionally, situations in which local people impede the proper execution of the quick assessment activities by asking for help for their relatives left under the rubbles have been reported among the major obstacles for the Urban Search and Rescue Team.

The operations performed by the reconnaissance team might not always be in line with the priority of intervention and might hamper the overall assessment activity. During an emergency, the assessment team is kept in the periphery of the most affected area and it is forced to ask for additional resources kept in the periphery as well. As a consequence, the time of completing the

assessment itself and the overall rescue operations become longer, which delays the whole process and decreases the chances of the victims to be saved. The USAR team assess the situation on site alone, using different methods, and together with other services and teams [7].

In different countries, several problems are experienced during USAR assessment but they have not been compared so far. Moreover, technical tools have been developed individually by countries and organisations without any comparisons. The ongoing Union Civil Protection Mechanism Training Programme [8] does not make extensive and detailed reference to this specific typology of assessment.

In such circumstances, the idea of the European Union's EASeR project (full name: ENHANCING ASSESSMENT IN SEARCH & RESCUE) was developed. The main objectives are to integrate the lack of studies and procedures to face the “barrier effect” during a SAR assessment in natural catastrophes, and to propose an integration of the existing operating procedures that deal with the problem in a general way (e.g. INSARAG Guidelines 2015) and best practices. The project also explores the possibility to tailor the already used equipment and innovative technology to the specific needs of SAR assessment (software, drones, advanced mapping and data collection), and to provide a scenario to test the project findings and the innovative technology for the first time under unique real-site conditions.

EASeR project – main goals and partners

The “Enhancing Assessment in Search & Rescue – EASeR” project is co-funded by the European Union Civil Protection Mechanism, and it targets a specific aspect of the urban search and rescue (USAR) assessment, called the “barrier effect,” during emergency interventions in response to natural catastrophes, especially earthquakes.

The term “barrier effect,” as used by the Fire Dep. of Pisa (IT), refers to the obstacles arising from a wide range of environmental factors such as heavy snow, traffic due to damage to the road system escaping in narrow/limited escape routes, road interruptions, and non-coherent management of the information flow (dissemination of false/fake information, correct information not taken into consideration, missing basic information). These factors can severely hamper the general assessment in SAR operations, as demonstrated by a direct experience of the USAR team of the Fire Dep. of Pisa, in both national and international interventions [8].

The project capitalises on the outcomes of other EU funded programmes (like MODEX – civil protection module exercises launched in 2016 and still on-going) and projects aimed at applying new technologies in emergency cases, such as “Emer-Gent – Emergency Management in Social Media Generation 2014–2017” [9] aimed at understanding the impact of social media during an emergency.

The EASeR project [10] aims to provide a practical strategy to carry a more efficient assessment in USAR with a positive cascade effect on the general performance of all subsequent operations.

The strategy of EASeR consists of the following four steps:

- a) analyzing the state of the art;
- b) providing operational tools as procedures to be validated in Italy (IT) and Guidelines to be disseminated at the international level;
- c) identifying new technologies that can be applied innovatively to support the assessment (software, drones);
- d) covering, as part of the developed procedures, the deployment of helicopters belonging to other corps, whenever possible.

Such procedures and innovative technologies are tested in a small-scale exercise where the assessment teams from Italy (IT), Czech Republic (CZ) and Poland (PL) face the “barrier effect.” The Fire Department of Pisa coordinates the project consortium composed by:

1. The Fire Rescue Brigade of the Moravian Silesian Region (FRB MSR, CZ).
2. The Scientific and Research Centre for Fire Protection – the National Research Institute (CNBOP-PIB, PL).
3. Timesis (SME, IT).

The EASeR general objective is to identify all the relevant elements to overcome the search and rescue assessment problems, and to enhance the response capacity in a complex emergency scenario due to natural catastrophes (e.g. earthquakes).

Through the drafting and validation of the operating procedures in Italy, and the drafting of international procedures, outlines and guidelines to be disseminated internationally, the improvement of the SAR assessment effectiveness will be tangible and sustainable after the project conclusion (the expected impact). The development of procedures also includes their testing through a small-scale exercise. In the medium-term/long-term perspective, EASeR is expected to contribute effectively to improving the efficiency of search and rescue operations, reducing the reaction time to the “barrier effect,” and strengthening the general deployment effectiveness of USAR teams.

European dimension of the project

The project partnership involves three EU countries with a deep and long-lasting experience in conducting national and international USAR activities (IT-CZ-PL). Italian, Czech and Polish Assessment experts of the Urban Search and Rescue teams are directly involved in the project, and team managers are directly interested in the project outcomes (procedures and procedure testing). The project outcomes are also expected to generate interest among other EU and non-EU countries, as the deliverables are designed to be replicable and customised. All the activities are grouped into five Working Packages (from WP0 to WP4), which implies a direct interaction and cooperation of the key experts at the national and international levels (a board of experts), as they are focused on producing key deliverables with a strong impact at both the national level (SOP-IT) and the European/international level (SOP-INT Outline, Guidelines). The exchange of know-how, testing and dissemination activities will be conducted in Italy, Czech Republic and Poland. The ultimate conference will be

guaranteed by each country to amplify the cascade effect of the project. Additionally, the involvement of the INSARAG Secretariat (located in UN OCHA) experts, who were invited to take part during the SOP workshops (WP1), should ensure a more thorough dissemination of the key deliverables, as well as the project impact and sustainability in the medium-term/long-term perspective. Therefore, the actions of EASeR, as a whole, can be viewed as an integration of the existing procedures already used in emergency cases at the EU level, and as potentially interesting also for the UCPM training programmes’ providers and EU Module exercises (MODEX). In the medium-term perspective, EASeR will address the development and testing of niche capacities, and innovative technologies and methodologies. Furthermore, the national civil protection authorities in IT, CZ, PL can take a direct advantage from the coordination of emergency cases if the assessment of USAR is more rapidly conducted and its efficiency is improved, thus overcoming the relevant limits of the “barrier effect.” People and victims in the affected areas during an emergency will act as the ultimate direct beneficiaries of the improved assessment in SAR operations.



Figure 2. The USAR Poland recon team in Nepal

Source: USAR Poland archives.

EASeR aims at addressing the preparedness priority of call 1. “Actions aimed at further developing the preparedness aspects of the Union Civil Protection Mechanism.” These are in particular related to: i) developing new response capacities through the development and testing of niche capacities, and innovative technologies and methodologies; ii) better planning of operations, and iii) enhancing the quality in the response capacity. In fact, the project strategy is designed to give a relevant contribution

to overcome the “barrier effect” through operational procedures that will integrate the existing procedures. The key deliverables (SOP-Italy, SOP-International and Guidelines) also include the description and procedures of the use of innovative technology (such instruments as drones, software, advanced mapping and other devices), currently used, or partially used, in some sectors of emergencies, but not yet tailored to the specific purposes of improving the assessment in SAR operations to overcome the “barrier effect.” SOP-INT and Guidelines also deal with helicopters deployment from other corps. As for Italy, the helicopters are already embedded in the National Fire-Fighters Corp. The innovation brought by the project consists in a strategic partnership that will work on the lack of existing procedures on SAR assessment. Three documents will be produced: SOP-IT, outline of SOP-INT and Guidelines/ Recommendations. The procedures, which are considered comprehensive and practical for end-users, are drafted and tested. The SOP-IT also aims at integrating the recent standardisation work carried out by the Fire Dep. of Pisa and other Fire Departments in Italy on “S.G.O. USAR Medium” that is a System of Operational Management (referring to methods). Once the project is completed, the SOP-INT may also integrate the guidelines internationally used by USAR teams (e.g. complementing UN OCHA INSARAG Guidelines review in 2020).

EASeR project methodology – ACTION PLAN

The overall concept underpinning the EASeR project is to improve the timely and efficient completion of assessment in SAR operations. It appears crucial to deploy the SAR teams and the entire emergency rescue system, as the assessment provides first-hand information and establishes priorities for on-site intervention. The assessment in SAR operations directly influences the subsequent interventions in the affected areas. If any serious obstacles impede an efficient conduction of the SAR assessment, the immediate consequence is the lack of knowledge of the needs and priorities in the affected area. As it seems that this subject has been neither faced in exercises nor explored in detailed guidelines, the EASeR seeks to develop an innovative methodology to apply operational procedures and test them. This stems from the direct experience of IT-SAR teams, from the available INSARAG Guidelines 2015, and from the need to integrate the existing procedures through the exchange of know-how to find suitable answers. The whole process developed in WP1, WP2, WP3 is aligned with quality control checks for documents production. In particular, the drafting phases of the procedures are carried out with a view to sharing the drafted index/subjects/themes, versions drafting, checks and test completion, taking into consideration the testing results (evaluation) and their submission to validation authorities. The EASeR methodology is summed up as follows: research of the existing good practices (including also the application of innovative technologies); exchange of know-how among senior experts and the development of SOP (workshops/working groups/remote working); the delivery of preliminary training before SOP testing; the use of technologies (as drones) and means (as helicopters) fitting into the scope and according to the drafted proce-

dures; preparing a team of evaluators to evaluate the application of procedures through a small-scale exercise; the organisation of a realistic scenario to test the assessment teams from IT, PL, CZ on the “barrier effect.”

The work within the first phase of the project (February – October 2018) was based on regular meetings, remote working and webinars, the aim of which was to define the structure, the content and the index of the following documents: the Italian Standard Operating Procedures, and the International Standard Operating Procedures – Outline and Recommendations for different levels of rescue missions and actors. The whole process, from the starting point, which was the decision to conduct an on-line survey, up to the final version of the documents, was carried out based on the thesis related to the “barrier effects.”

During the intermediate stages, the consortium partners were working on the value of each issue and how to reflect all of them inside the foreseen documents, considering the survey responses. Once this was agreed on, the next step was related to the development of the timeline of the assessment phase and how it could be represented in a SOP. One of the tools employed to this end was the matrix that covered all phases and actors possibly involved in these activities. Based on the matrix compilation and actual issues consolidation, draft versions of the International and Italian SOPs as well as Recommendations indexes were developed.

The Final Workshop was dedicated only to presenting the results to external experts who had a different background and affiliation, as well as to discussing the final shape with them, considering their experience. Among the USAR and civil protection experts invited to the meeting in Poland were representatives of the National Civil Protection from Italy, the National HQs of the Czech Fire and Rescue Service, the “Swiss Team leaders” consultancy for Switzerland and the “Solo Institute” from Turkey.

Applied reaserch methodology – SURVEY

As already mentioned, the methodology used for the analysis of the state of the art included a questionnaire (an on-line survey) built up to inquire USAR Teams about their experience both at the national and international level, and about their knowledge and expertise, and also to define even more precisely what the “barrier effect” is and to reveal the previously unidentified gaps. This allowed the project team to collect data from several countries on the topic of the “barrier effect.” The most valuable and interesting opinions are presented further in the article.

To increase the work effectiveness, during an initial meeting a Board of Experts was established, including specialists in SAR activities from all the participating countries. The questionnaire was developed by the CNBOP-PIB research institute, based on initially identified issues, and the questions were agreed by PSC with all the partners before being disseminated among the USAR Teams’ representatives. The collected responses allowed for further analysis of the problem, and then the idea of matrix was born. The main goal was to identify the possible actors and crucial phases consisting of the most important factors in the development of the documents.

The online discussion, emails and webinars, combined with brainstorming during one of the meetings, made it possible to further develop the shape and structure of the final documents. The drafted versions of both the indexes of SOPs and recommendations was produced before the Final Workshop on SOPs, which served as the basis for further discussions with external experts.

The consolidated versions of all document indexes were distributed by the end of Working Package 1 led by CNBOP-PIB and they were made ready for the next step, which was the development of their content led by Timesis, and its testing led by the Fire Department of Pisa.

The questionnaire concept was developed at the end of the Initial Workshop on SOPs which was held in Italy, L'Aquila, on 22–23 February. The discussion on this element was preceded by two visits in the earthquake affected sites – Amatrice and Rignano, its aim being to explain better the “barrier effect” meaning. Based on the brainstorming, it was agreed that there was a need to divide the rescue assessment considering the activities before and after the event.

Then, the different phases had to be defined including preparedness (with training and equipment), activation, mobilisation, deployment and finally – operations. No less important was the definition of the potential actors involved in the process, identified through the following phases.

Survey design

The plan foreseen for the period between the Initial Workshop on SOPs in Italy and the meeting in Czech Republic was to develop an on-line survey, to disseminate it among at least 9 countries worldwide with different level of expertise in USAR activities, to collect the results and elaborate them, and to conduct an initial analysis of the “barrier effects” interfering with the rescue assessment process. The leader of WP1 in cooperation with other partners prepared the on-line version of the survey using the Google forms tool.

The survey was developed based on the list of “barriers” already identified. There was 1 initial general question and 10 detailed questions with 5 ranges of responses describing how

deeply the relevant elements within each “barrier” had been experienced by the respondents. The most valuable results are presented in below.

Taking into consideration the experience in the search and rescue operations, both at the national and international level, the USAR Teams involved in the survey were asked to answer the questions to get a wider point of view on the topic. This approach made it possible to get broader understanding of the constraints that rescuers faced in major emergencies such as earthquakes, landslides and hurricanes causing enormous destruction to the population, infrastructure and environment.

Each question referred to one “barrier” that was sequenced by additional more detailed sentences explaining the different aspects of the above mentioned problem, and the respondents were asked to provide their responses within the following range:

- 1 – I totally disagree.
- 2 – I disagree.
- 3 – I didn't face this aspect.
- 4 – I agree.
- 5 – I fully agree.

Besides the above-mentioned scale of responses, additional space was provided for comments, in case the range did not fully describe the issue. The main goal of the survey was to define the “barrier effect” more precisely and to eventually reveal some previously unidentified gaps, so the final results were important from the perspective of further SOPs and Recommendations development.

The main 10 initial barriers identified in 10 questions for survey purposes are:

- obstructed access to the incident zone;
- performance of the assessment personnel;
- team members' knowledge and training;
- difficulties in communication with the affected population;
- time pressure;
- communication in the incident zone;
- incident management;
- new technologies;
- information from media;
- helicopters use.

Phase of Assessment	Main Issues / Activities	Gaps / Aspects to improve	Possible solutions / Tools	Notes
Pre-alert				
Activation				
Mobilisation				
Planning				
Data collection				
Update on data collection				
Arrival on site and interaction with first responders				
Assessment on site				

Figure 3. First version of the content to be included in the “questionnaire” and main discussion points further developed in the survey
Source: Own elaboration.

Survey conduction – Range of tests

Once agreed among the partners and made ready, the survey was disseminated among USAR Teams representing different levels of experience, and it was eventually submitted by 12 countries (figure 4) with INSARAG classified and non-classified teams:

1. United Kingdom
2. Australia
3. Chile
4. Greece
5. Malta
6. Russia
7. USA
8. Japan
9. Netherlands
10. Poland
11. Italy
12. Czech Republic

All the selected respondents are normally members of team management components, having a role of team leaders, liaison officers, head of logistics, operations officers or, if they are not members of the team itself, representing the national level in the civil protection structure, as emergency relief coordinators or directors general. The survey was distributed in April and each potential respondent had 1 month to submit the form on-line. This should allow for collecting all survey outcomes before the meeting in Ostrava

(28–30 May 2019). CNBOP, acting as the leader, monitored the survey submission and prepared the summary for further discussion.

Survey results elaboration – Summary

The results of the survey were summarised by the CNBOP-PIB and presented during the meeting held in Czech Republic in May 2019. Most of the respondents agreed with a thesis related to the “barrier effect”, which was formulated in the general question that opened the survey: “Do you think that “barrier effects” have an influence on reconnaissance conducted in the emergency environment and affect the overall performance of the search and rescue teams?” (see fig. 5). Nine questions were raised, each of them scaled from 1 to 5, where 1 means “I totally disagree” and 5 “I fully agree”. The most interesting opinions shared by the respondents are presented further in this section (in charts).

In a few cases, responses to the more detailed questions which described the general issues were opposite. The same concerned the respondents’ remarks related to different aspects of the issues. Both were raised in further discussion among the experts. Nevertheless, it appears important to underline that there were many valuable comments, which allowed for defining some “barriers” more precisely, and also for revealing some new factors which consequently influenced the development of SOPs and Recommendations outline.

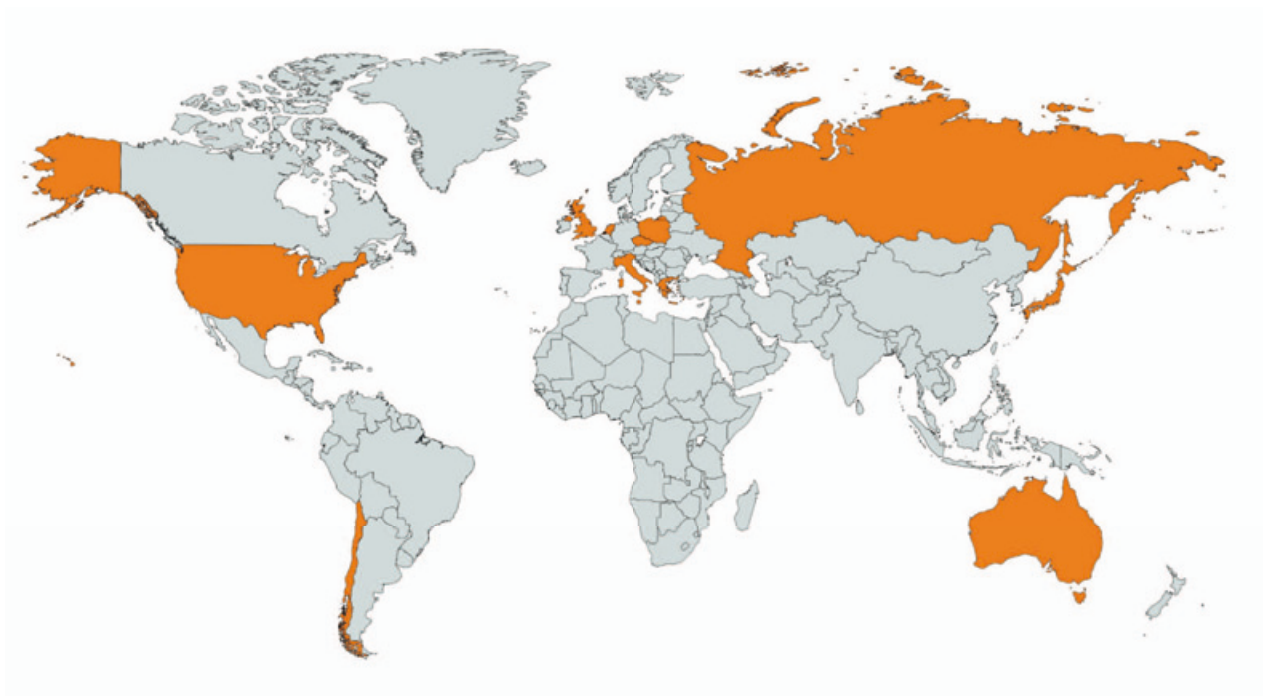


Figure 4. Map with countries participating in the survey
Source: Own elaboration.

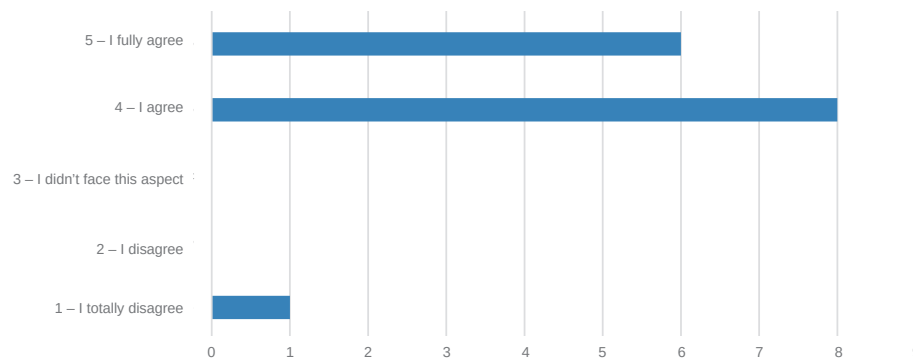


Figure 5. Responses to the first general question: “Do you think that “barrier effects” have an influence on reconnaissance conducted in the emergency environment and affect the overall performance of the search and rescue teams?”

Source: Own elaboration.

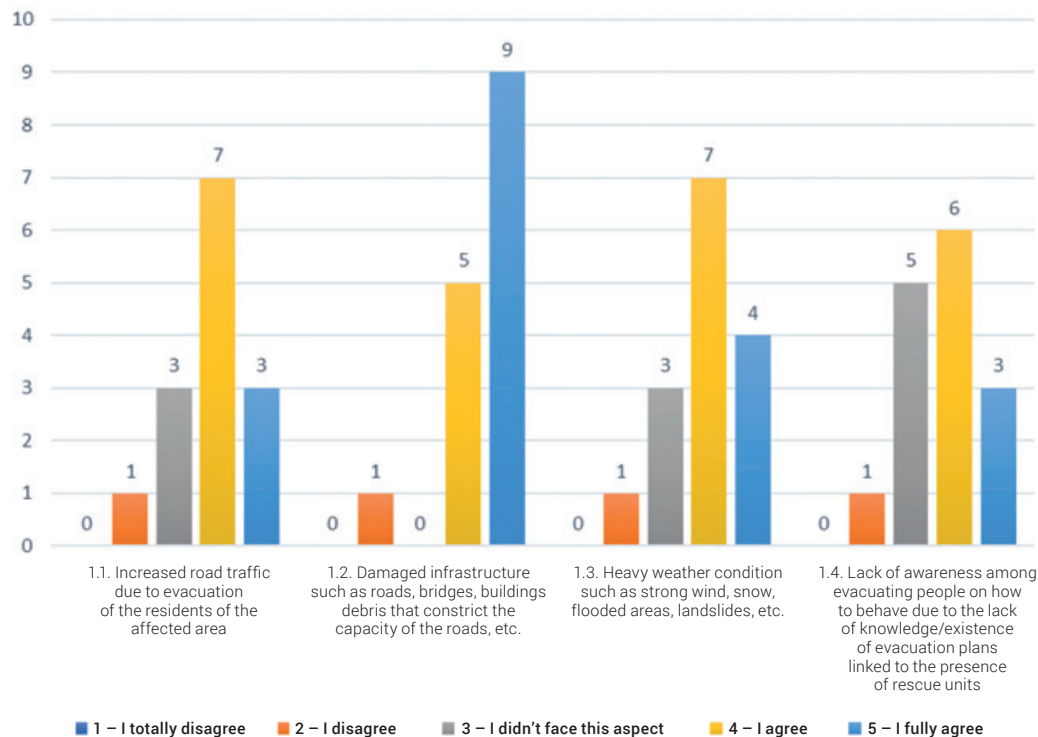


Figure 6. Responses to the question: What causes obstructed access to the incident zone?

Source: Own elaboration.

The elaboration made by the CNBOP-PIB finally led to identifying the most impacting factors that directed the work on the final shape of the documents, including:

- increased road traffic due to evacuation of residents of the affected area;
- damaged infrastructure;
- heavy weather conditions;
- cultural issues;
- unavailability of markings on buildings;
- damaged or congested communication infrastructure;
- special request from the affected population each time the rescuers appeared;

- non-coherent management of information flow.

The second question concerned the assessment performance. The provided responses are presented in figure 7.

Foreign language as a communication barrier during the assessment performance was raised as well. Communication is crucial to every operation. Therefore, responses to the question regarding technical communication in the incident zone are presented in figure 8.

The use of new technologies can significantly improve the effectiveness of assessment and operations. Therefore, the question related to the use of some new technology products and associated problems was also a part of the survey (fig. 9).

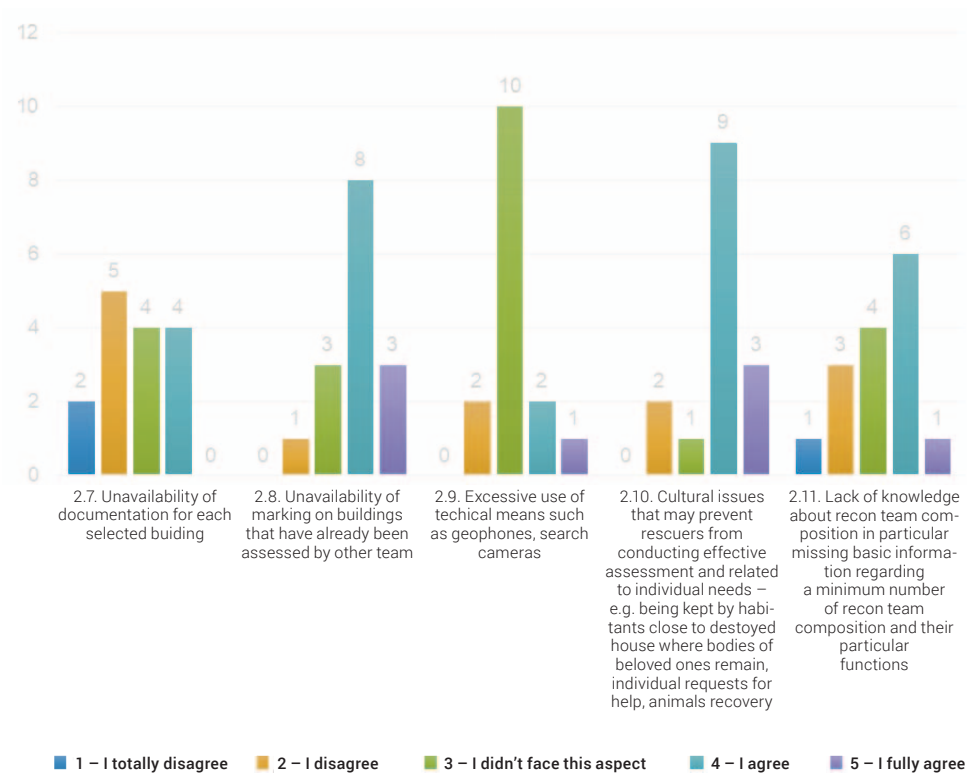


Figure 7. Responses to the questions regarding the assessment performance

Source: Own elaboration.

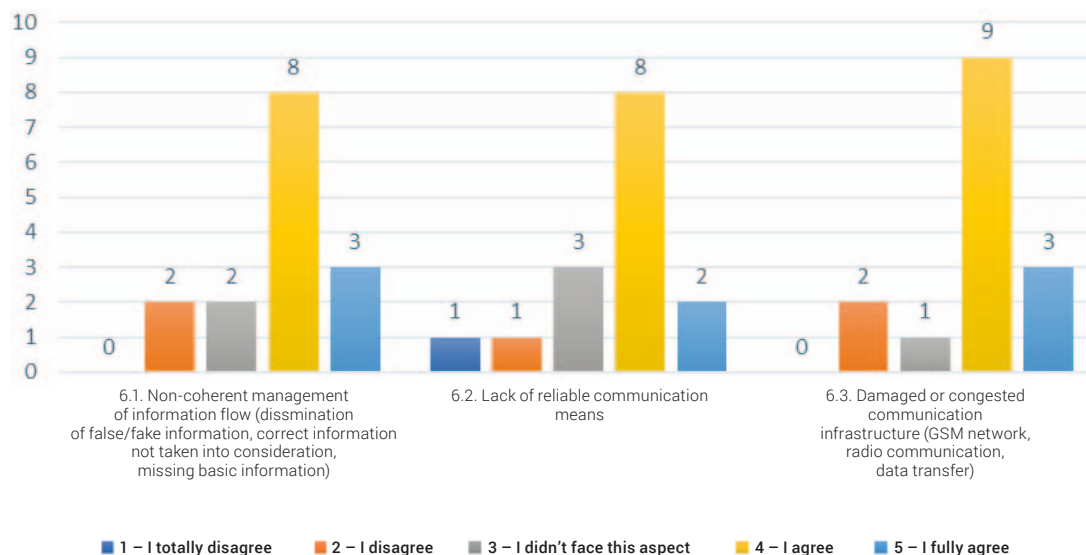


Figure 8. Responses on the main barriers with communication in the incident zone

Source: Own elaboration.

The last question in the survey concerned information from the media, including social media. The results are presented in figure 10.

The outcomes of the survey as regards other questions, which were not presented in detail in the article, focused on how the “barrier effect” could influence the team members’ knowledge

and training, the difficulties in communication with the affected population, time pressure, incident management and helicopters use. The shared opinions were rather similar. The majority of respondents (8–9 out of 15) agreed or fully agreed that the team members’ knowledge of the guidelines and their practical training

could influence the “barrier effect” and performance of USAR teams. The majority of respondents (9–10 out of 15) also agreed that language could pose a barrier during international intersections and that the people interviewed by the respondents were affected by the effect of a disaster. As regards time pressure, the majority of respondents (overall, 7–9 out of 15) agreed or fully agreed that the “barrier effect” could be created by high or special expectations of the affected population, as well as by high pressure from supervisors on the assessment teams to “find someone.” Most respondents (8–11 out of 15) agreed that, at the incident

management level, the “barrier effect” could be created by the lack of experience on the assessment performance, the lack of SOP, the lack of awareness, the lack of standardised training and gaps in competence management or legislation of which the organisation is in charge. Only with questions concerning the use of helicopters and the lack of procedures or impossibility to use them, the respondents expressed different and opposing opinions (similar numbers of respondents agreed and disagreed, or did not face the aspect (respectively, 3–6 out of 15), so is not possible to present the trend or recognise this topic as a potential barrier.

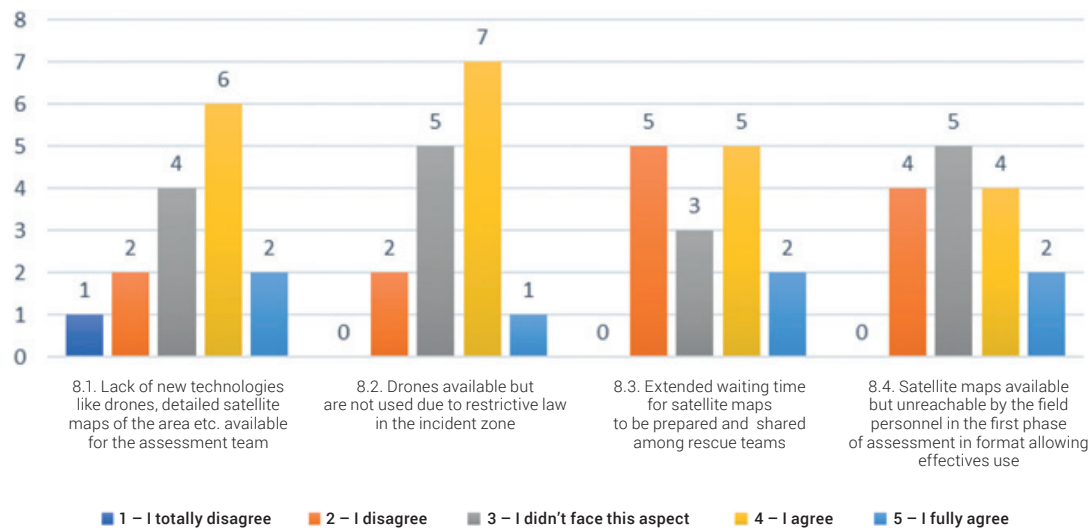


Figure 9. Chart presenting the quantitative responses regarding the use of new technologies during the assessment

Source: Own elaboration.

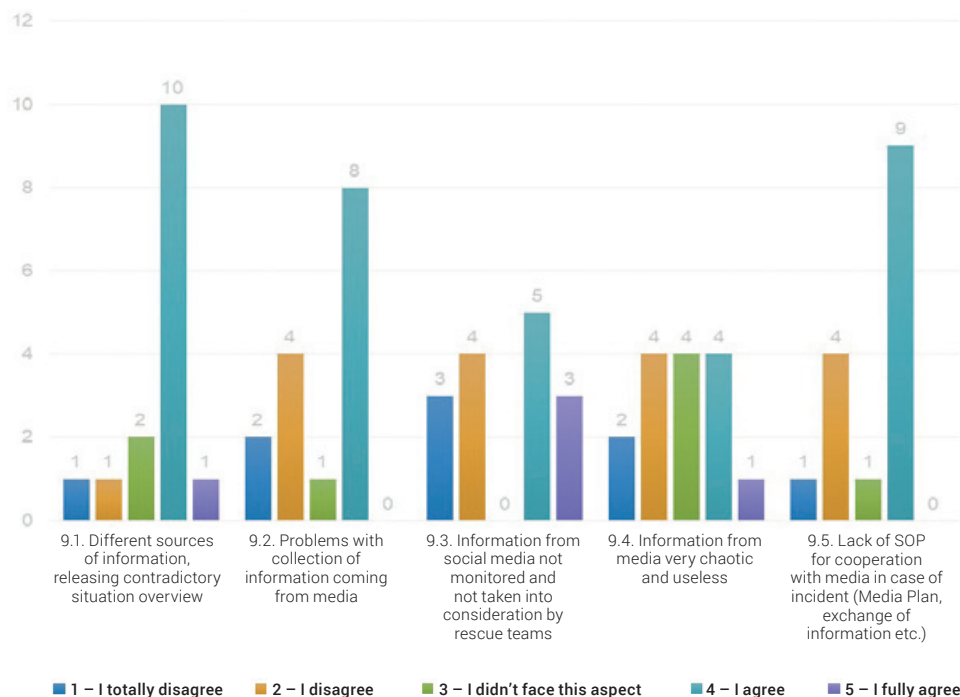


Figure 10. Chart presenting the quantitative responses on the main barriers regarding information from the media, including social media

Source: Own elaboration.

SOP outline and Matrix development

Responses provided in the survey conducted in all 3 existing INSARAG regions (Americas, Europe/Africa/Middle East, Asia – Pacific), along with the respondents' comments, made it possible to proceed with the next stage of the project, i.e. to outline the index of the Standard Operational Procedures (SOP), taking into account the external feedback.

Further discussions on the shape of SOPs and Recommendations indexes were held. The brainstorming led to developing the initial definition of actors to whom SOPs may refer (the Operational Centre, initial respondents, national and international USAR teams). The next step was the final selection of the list of "barriers" to be included, and the final number of phases related to the assessment process. Each "issue" was numbered and matched with respective actors and phases. As the reference document for the final definition of SOPs shape and structure, INSARAG guidelines, as globally accepted by USAR teams, were chosen. The main outcome of the Board of Experts meeting was the document presented in figure 11, and its final version can be seen in figure 12.

The identification of the actors involved in the assessment was carried out through the following steps:

- analyzing any single issue and its content;
- crossing it with time and phases;
- initially, the local authorities were not considered as the element in the pool, but finally this actor was also added to the index.

Finally, it was agreed that the final document (SOPs) structure will include:

- section division by actors;
- section divisions by phases;
- section division by "barriers".

The next chronological step after the research work (the examination of initial documents, survey results elaboration) included the development of draft versions of SOPs indexes. After remotely working for 1.5 month, the document had to be presented internally. This was the main purpose of the next project Board of Experts (BoE) meeting. It was agreed that both the international SOP documents and the Italian document would have the same baseline and their content would be tailored to the nations' needs. The next BoE meeting involved a brainstorm on the structure of the SOPs, which resulted in different proposals on the sections division – by actors, by phases or by issues. Based on the same assumptions, the discussion on the Recommendations shape also had to be finalised by the end of the meeting, to have a foundation for further remote work. The final conclusions on the SOPs were as follows:

- Both SOPs will be divided on sections by actors;
- Each section will have subsections named by phases:
 - Preparedness,
 - Activation & mobilisation,
 - Deployment,
 - Operations;
- The issues identified will be matched to each phase in each section;
- The final part of the document will be dedicated to the lessons learnt.

The crucial element that had to be defined within the first phase of the project was related to a proper "barrier effect" explanation. The list of issues was reduced from the initial 14 to 10, because it appeared that some "barriers" had the same meaning so they could be collated and treated as one. The final list of issues included in SOPs and Recommendations is the following:

- access to worksites;
- performance, knowledge, skills & training of the assessment teams;

TIMELINE					ISSUES (linked to barrier effect)	Number identification
BEFORE EVENT		AFTER EVENT			ACCESS TO WORKSITES	1
ACTORS					PERFORMANCE	2
OPERATIONAL CENTRE					KNOWLEDGE/SKILLS TRAINING	3
FIRST RESPONDERS					COMMUNICATION	4
NATIONAL USAR					TIME PRESSURE	5
INTERNATIONAL USAR					COMMUNICATION (IT)	6
	Preparadness (Training and Equipment)	Activation and Mobilisation	Deployment	Operations	INCIDENT MANAGEMENT	7
PHASES					NEW TECHNOLOGIES	8
					MEDICAL ISSUES	9
					USE OF AIRCRAFTS/HELICOPTERS	10
					INTERACTION BEETWEN ACTORS	11
					PEAK OF REQUEST	12
					DECISION MAKING PROCESS	13
					ACTIVITIES OUTSOURCING	14

Figure 11. Initial matrix consisting of the actors, timeline and issues for further development of the SOPs content

Source: Own elaboration.

	TIMELINE				ISSUES (linked to barrier effect)	Number identification
ACTORS	BEFORE EVENT	AFTER EVENT			ACCESS TO WORKSITES	1
OPERATIONAL CENTRE	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1,2.10, 2.11), 4 (4.2), 5 (5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 7 (7.1-7.4), 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4), 11	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.11), 5 (5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4), 11	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.11), 4 (4.2), 5 (5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4), 11	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.11), 4 (4.2), 5 (5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4) 10 (10.1-10.4), 11	PERFORMANCE	2
LOCAL AUTHORITIES	1 (1.1,1.2,1.3, 1.4), 2 (2.1, 2.10, 2.11), 3 (3.5), 4 (4.2), 6 (6.1) plus 9, 7 (7.5), 11	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.11) 6 (6.1) plus 9, 11	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.11), 4 (4.2), 5 (5.4), 6 (6.1) plus 9, 11	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.10, 2.11) 4 (4.2), 6 (6.1) plus 9, 11	KNOWLEDGE/SKILLS TRAINING	
FIRST RESPONDERS	2 (2.10), 4 (4.2), 5 (5.1, 5.2, 5.3), 6 (6.1) plus 9, 7 (7.5)	1 (1.2, 1.3), 6 (6.1) plus 9	1 (1.2, 1.3), 4 (4.2), 6 (6.1) plus 9	1 (1.2, 1.3), 2 (2.10), 4 (4.2), 6 (6.1) plus 9	INTERACTION WITH THE AFFECTED POPULATION	3
NATIONAL USAR	2 (2.1, 2.3, 2.4, 2.10), 4 (4.2), 5 (5.1, 5.2, 5.3, 5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 7 (7.1-7.4), 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4)	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.3, 2.4), 5 (5.4) 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4)	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.3, 2.4), 4 (4.2), 5 (5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4)	1 (1.2, 1.3), 2 (2.1, 2.3, 2.4, 2.10) 4 (4.2), 5 (5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4) 10 (10.1-10.4), 11	TIME PRESSURE	4
INTERNATIONAL USAR	2 (2.3, 2.4, 2.10), 4 (4.2), 5 (5.1, 5.2, 5.3, 5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 7 (7.1-7.4), 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4)	2 (2.3, 2.4), 5 (5.4) 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4)	2 (2.3, 2.4), 4 (4.2), 5 (5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4)	2 (2.3, 2.4, 2.10), 4 (4.2), 5 (5.4), 6 (6.1, 6.2-6.6) plus 9, 8 (8.1-8.4), 10 (10.1-10.4) 11	COMMUNICATION (IT)	5
Preparedness (Training and Equipment)		Activation and Mobilisation	Deployment	Operations	INCIDENT MANAGEMENT	6
PHASES					NEW TECHNOLOGIES	7
					MEDIA MANAGEMENT	8
					USE OF AIRCRAFTS/HELICOPTERS	9
					ACTIVITIES OUTSOURCING	10

Figure 12. Matrix filled, including an additional actor – the local authorities

Source: Own elaboration.

- interaction with the affected population;
- time pressure;
- communications & IT;
- incident management and management of all the emergency;
- new technologies dependency and support;
- media management;
- use of aircrafts/helicopters and generally air, land and water vehicles;
- activities outsourcing.

Once the structure of the documents was ready, the last step involved its presentation to a wider audience, including external experts from Italy, Czech Republic, Switzerland and Turkey, during the Final Workshop, held in Poland on 3-5 October 2018.

Main outcome of the meeting was:

- Presentation of the draft “General Criteria” document
- Presentation of the consolidated versions:
 - Italian Standard Operating Procedures;
 - International Standard Operating Procedures – An Outline;
- Recommendations – for different levels of rescue missions and actors. A discussion with international experts on further development of the final indexes

The consolidated version of both the Italian and International SOPs reflected the above-mentioned structure while the index of

Recommendations was built on the same baseline as for the indexes of SOPs. However, the sections are divided by issues and the document is more general. It does not cover individual phases and is addressed to the following recipients:

- the National Civil Protection authorities at the EU and extra-EU level;
- local authorities (self-government, municipalities, public administration on different levels);
- assessment teams (all teams that carry out assessment activities in search and rescue (SAR);
- any other entities/teams involved in assessment.

The crucial part of the document is the table divided into columns consisting of each issue, its meaning and general recommendations/best practices. Follow up activities will be focused on the content filling, i.e. the exact actions to be taken in each case or examples of the effective solutions to minimise each barrier effect will be presented.

The final products are the consolidated versions of the indexes:

- Italian Standard Operating Procedures;
- International Standard Operating Procedures – An Outline
- Recommendations – for different levels of rescue missions and actors.

Both the International and Italian SOP documents have a similar structure, which considers the barriers, the mission phases and the actors. Each chapter refers to different actors involved in operations and is further divided into subsections

by different mission phases. Within each phase, different barriers are named. Based on the findings from the first phase of the project, the third document, referred to as Recommendations, was created. It is dedicated to different levels of actors and aims to give some hints to them as they are involved in the assessment phase. This document differs from SOPs because it is more generic and intends to give some best practices and advice in relation to each “barrier.”

Conclusions/Summary – Way Forward

During the initial phase of the disaster, such as an earthquake, the proper execution of wide-area and sector assessment, as well as the primary search and rescue (respectively, ASR levels 1, 2 according to the INSARAG guidelines) are crucial for the ultimate outcome of the whole mission. Therefore, each possibility of reducing the impact or overcoming the “barriers effect,” as defined

in EASeR project, is so important. Thanks to the survey results, it was possible to finalise the indexes of EASeR project documents. The EASeR project was presented to the INSARAG and UNDAC community during the Humanitarian Network Partnership Week in Geneva in 2019 [11]. Now it is time to fill the indexes of prepared documents with content as draft versions and make them practically verified, in terms of their usefulness, by the real USAR assessment teams during practical field exercises prepared by the Fire Department of Pisa. During this event, scheduled for 28 May – 2 June 2019, the USAR assessment teams of Italy, Poland and Czech Republic will be deployed in real site conditions of Poggioreale, Belice Valley, Italy. Consolidated SOPs and Recommendations will be built up and finalised after the small-scale exercise. If the results of that project provide good feedback following the completion of the project (February 2020), they will also be disseminated as support to the INSARAG Secretariat in UN OCHA, to be implemented by the INSARAG review working group in the review of globally recognised INSARAG guidelines.

Literature

- [1] INSARAG Guidelines 2015, United Nations Office for Coordination of Humanitarian Affairs, Secretariat of INSARAG, Volume I: Policy, Geneva 2015, 6.
- [2] United Nations General Assembly Resolution 57/150 of 16 December 2002 on Strengthening the effectiveness and coordination of international urban search and rescue assistance, <https://www.insarag.org/about/ga-resolution> [accessed: 17 February 2019].
- [3] Gardin E., *Revision of decision 1313/2013/eu for a fully-fledged european union civil protection mechanism with own operational capacities / 2017–11*, <http://www.europarl.europa.eu/legislative-train/theme-area-of-justice-and-fundamental-rights/file-eu-civil-protection-mechanism> [accessed: 6 January 2019].
- [4] Braun T., Cesca S., Kühn D., Martirosian-Janssen A., Dahm T., *Anthropogenic seismicity in Italy and its relation to tectonics: State of the art and perspectives*, “Anthropocene” 2018, 21, 80–94, <https://doi.org/10.1016/j.ancene.2018.02.001>.
- [5] Bingham J., *LAquila earthquake: Fault lines leave Italy prone to tremors*, “The Telegraph” 2009, <https://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/italy/5113465/LAquila-earthquake-Fault-lines-leave-Italy-prone-to-tremors.html> [accessed: 6 January 2019].
- [6] Samuelson K., *Why Italy Is So Prone to Earthquakes*, Time, 2016, <https://time.com/4464118/italy-earthquake-seismologist-explains-why-common/> [accessed: 6 January 2019].
- [7] Feltynowski M., *Analysis of selected hazards occurring during work on rubbles rescuers from the USAR groups from State Fire Service*, diploma thesis, Central Institute for Labour Protection, 2001, 6.
- [8] The Union Civil Protection Mechanism Training Programme, Publications Office of the European Union, Luxembourg 2016, http://ec.europa.eu/echo/files/civil_protection/civil/prote/pdfdocs/Training%20brochure.pdf [accessed: 6 January 2019].
- [9] The official site of Easer project, <https://www.easerproject.eu/> [accessed: 18 February 2019].
- [10] The official site of the Emergent project, <http://www.fp7-emergent.eu/> [accessed: 6 January 2019].
- [11] Humanitarian Networks and Partnerships Week (HNPW), <https://www.unocha.org/humanitarian-networks-and-partnerships-week-hnpw> [accessed: 10 March 2019].

Abbreviations

ASR Level	– Assessment Search and Rescue Levels	LEMA	– Local Emergency Management Authority
BoE	– Board of Experts	MUSAR	– Medium USAR
CZ	– Czech Republic	MODEX	– EU Module exercises
EASeR	– ENHANCING ASSESSMENT IN SEARCH & RESCUE	OSOCC	– On Site Operational Coordination Centre
EQ	– earthquake	RDC	– Reception and Departure Centre
EmerGent project	– Emergency Management in Social Media Generation 2014–2017	USAR Poland	– Urban Search and Rescue Poland
HUSAR	– Heavy USAR – Heavy Urban Search and Rescue IT – ITALY	UNDAC	– United Nations Disaster Assessment and Coordination
INSARAG	– International Search and Rescue Advisory Group	UN OCHA	– United Nations Office for Coordination of Humanitarian Affairs
ISC	– INSARAG Steering Committee	UCPM	– Union Civil Protection Mechanism
S.G.O.	– System of Operational Management	PL	– Poland
		SOP-IT	– Standard Operating Procedures (Italy)
		HNPW	– Humanitarian Network Partnership Week

BRIG. MARIUSZ FELTYNOWSKI, PH.D. – head of the of Independent Experts Section at the Józef Tuliszowski Scientific and Research Centre for Fire Protection in Józefów. In 2016 he graduated from the third level studies at the Faculty of Management and Command, National Defense University, obtaining the PhD degree in the field of social sciences. He is a specialist in the field of coordination of rescue operations, including in particular the issues of activities and functioning of specialised urban search and rescue groups, as well as the use of new technologies in emergency services.

MICHAŁ LANGNER, M.SC. ENG. – Senior Expert, International Deployment and National Resilience Section, National Centre for Rescue Coordination and Civil Protection, National Headquarters of the State Fire Service, USAR Poland Team leader. He started his professional career in 2002 after he had been promoted to a degree of lieutenant of the State Fire Service. He also graduated from the Warsaw University of Technology as Master of Science in Chemical Technology and Engineering. He has 10 years of operational experience, both national and international. He has been responsible for the coordination of host nation support activities during large disasters or high visible events, i.e. floods in Poland (2010) or EURO 2012,

as well as the deployment of Polish modules abroad, i.e. floods in Czech Republic, Bosnia and Herzegovina. He was member of the Heavy USAR Poland team deployed to international missions, i.e. Haiti EQ (2010), Nepal EQ (2015) and Sweden (2018). For the last 10 years he has participated in over 30 European civil protection exercises being nominated as a trainer, evaluator, Voluntary Pool certifier and team leader of the Polish State Fire Service modules (USAR, HCP, CBRNDET). He has acted as the national venue manager in the current module exercises cycle (2017/2018), responsible for the organisation of Wave 2017. Since 2009, as INSARAG expert assigned to take a role of IEC/R team member, he has participated in almost 10 classification exercises. Furthermore, he was involved in the Core Group responsible for the organisation of UN INSARAG activities during the Polish Chair in Europe/Africa/Middle East Group, such as International USAR teams exercises (POLEX 2013) and Regional Meeting in 2014. Member of the Mentors team preparing the Armenian USAR team for INSARAG classification in 2015. In the last 4 years, a coordinator of the Capacity Building projects for Ukraine and Armenia, in cooperation with Polish MoFA. A member of the assessors team during NATO EADRCC exercises in Armenia (2010), Georgia (2012) and Ukraine (2015).

Dorota Szulczyńska, Ph.D.^{a)*}^{a)} *Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute / Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowozarowej – Państwowy Instytut Badawczy*^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: dszulczynska@cnbop.pl*

Determinants of the Perception of Asbestos

Determinanty postrzegania azbestu

ABSTRACT

Aim: The purpose of the article is to provide general information about the properties, application, legal aspects and methods of asbestos disposal. In addition, studies on the harmfulness of asbestos impact on the incidence of asbestos-related diseases among people are presented on the example of asbestosis in Poland. The threats that asbestos may cause during rescue and firefighting operations are discussed.

Introduction: Asbestos has been used in a variety of ways since ancient times. It gained popularity in the mid-twentieth century, when it began to be used in many building materials. It has become popular because of its unique properties. However, after 1990 there was a drastic change in the approach to the use of asbestos and asbestos products. Asbestos has been banned in 55 countries, including the EU, due to its harmfulness to human health. In Poland, the use and production of asbestos was banned in 1997, and in 2009 the "Asbestos Removal Programme" was introduced, which shows that by 2032 asbestos-containing products should be removed from Poland.

Although asbestos has been widely used for many years, safe commercial methods of asbestos disposal have not been developed yet.

In the world, many scientific studies are carried out to develop a method for processing and neutralising asbestos products. The research is aimed at developing modern and ecological methods for dealing with asbestos-containing waste.

Methodology: The article has been compiled on the basis of a review of selected literature on the subject matter covered.

Conclusions: The analysis of the subject allows a statement that both in Poland and in the world the problem of the disposal of asbestos products, which were widely applied in the 20th century, is large. It is necessary to develop safe, environmentally friendly and cost-effective technologies to reduce asbestos waste in the environment to be utilised on an industrial scale.

Every effort should be made to provide proper training for firefighters, who may be exposed to inhaling asbestos fibres during rescue and firefighting operations on collapsed or burning buildings.

Keywords: asbestos, waste neutralisation, utilisation of hazardous materials

Type of article: review article

Received: 09.04.2019; Reviewed: 27.08.2019; Accepted: 03.09.2019;

Author's ORCID ID: 0000-0001-8003-8452

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 144–161, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.9>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie ogólnych informacji o właściwościach, zastosowaniu, aspektach prawnych oraz metodach unieszkodliwiania azbestu. Ponadto przedstawiono badania szkodliwości oddziaływania azbestu na zachorowalność ludzi na choroby azbestozależne na przykładzie zapadalności na pylicę azbestową w Polsce. Omówiono zagrożenia, jakie może powodować azbest w trakcie prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

Wprowadzenie: Azbest był wykorzystywany w różnorodny sposób już od starożytności. Jego popularność wzrosła w połowie XX wieku, kiedy zaczął być stosowany w wielu materiałach budowlanych. Uznanie zyskał ze względu na swe unikalne właściwości. Natomiast po roku 1990 nastąpiła drastyczna zmiana w podejściu do stosowania azbestu i wyrobów azbestowych. Ze względu na szkodliwość dla zdrowia ludzi azbest został zakazany w 55 krajach, w tym w UE. W Polsce stosowanie i produkcja azbestu jest zabroniona od 1997 r., a w 2009 roku wprowadzono „Program usuwania azbestu”, który nakazuje do 2032 r. usunięcie z terytorium Polski wyrobów zawierających azbest.

Mimo, że materiał ten był przez wiele lat powszechnie stosowany, do tej pory nie udało się opracować komercyjnych i bezpiecznych metod jego unieszkodliwiania.

Na świecie realizowanych jest wiele prac naukowych mających na celu opracowanie metody przetwarzania i unieszkodliwiania wyrobów azbestowych. Realizowane prace naukowe mają na celu opracowanie nowoczesnych i ekologicznych metod postępowania z odpadami zawierającymi azbest.

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

Wnioski: Analiza tematu pozwala na stwierdzenie, że zarówno w Polsce, jak i na świecie unieszkodliwianie wyrobów azbestowych cieszących się szerokim zainteresowaniem w XX wieku stanowi nadal duży problem. Istnieje konieczność opracowywania technologii – bezpiecznych, ekologicznych i opłacalnych do stosowania w skali przemysłowej – pozwalających na zmniejszenie odpadów azbestowych w środowisku.

Należy dołożyć wszelkich starań, aby zapewnić odpowiednie przeszkolenie strażaków, którzy podczas działań ratowniczo-gaśniczych przy zawałonych lub palących się budynkach mogą być narażeni na wdychanie włókien azbestu.

Słowa kluczowe: azbest, unieszkodliwianie odpadów, utylizacja materiałów niebezpiecznych

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 09.04.2019; **Zrecenzowany:** 09.04.2019; **Zatwierdzony:** 03.09.2019;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0001-8003-8452;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 144–161, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.9>;

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

Introduction

Between 1950 and 1990, asbestos was used as a component for manufacturing nearly 3000 products. Out of those products, the majority were originally intended for protecting human life and property against heat and fire hazards. Asbestos was used in many areas of the economy: ranging from the hotel industry, through military applications, to chemistry and construction. However, after 1990 the general perception of the use of asbestos and asbestos products changed dramatically.

Due to its properties detrimental to human life and health, asbestos has been banned in 55 countries, including EU Member States. In Poland, the use and manufacture of asbestos and products containing asbestos has been prohibited since 1997. The “Asbestos Removal Programme” collected data that showed that 8 million tonnes of asbestos-containing products should be removed from Poland by 2032 [1].

Although asbestos had been widely used for decades and was banned in the EU over 20 years ago, no safe commercial methods of its disposal have been yet developed. In addition, despite many years of raising general public’s awareness of the harmful effects of asbestos, this subject still remains controversial.

Due to that, this article focuses on providing general information on the properties, use, legal conditions and methods for the disposal of asbestos and asbestos products. In addition, the article presents studies regarding the incidence of asbestos-dependent diseases among people based on the example of asbestosis morbidity in Poland. Furthermore, the article discusses the potential asbestos-related risks borne by firefighters during firefighting operations.

General considerations

Asbestos is the trade name of a group of fibrous minerals [2] which in the chemical sense are hydrous silicates of various metals. Depending on the type of metals with which the silicates bond [3],

Wprowadzenie

W latach 1950–1990 azbest był używany do wytwarzania prawie 3000 produktów, z których większość miała za zadanie chronić życie i mienie od ciepła i ognia. Wykorzystywano go w wielu dziedzinach gospodarki: od hotelarstwa, poprzez technologie wojskowe, po przemysł chemiczny i budowlany. Natomiast po roku 1990 nastąpiła drastyczna zmiana w podejściu do stosowania azbestu i wyrobów azbestowych.

Ze względu na wykrytą szkodliwość dla zdrowia ludzi azbest został zakazany w 55 krajach, w tym w krajach członkowskich UE. W Polsce stosowanie i produkcja azbestu oraz wyrobów zawierających azbest jest zabroniona od 1997 r. Z danych zawartych w „Programie usuwania azbestu” wynika, że do 2032 r. z terytorium Polski należy usunąć 8 mln ton wyrobów zawierających azbest [1].

Mimo że azbest był przez dziesięciolecia powszechnie stosowany, a przeszło 20 lat temu zakazano jego stosowania w UE, do tej pory nie udało się opracować komercyjnej i bezpiecznej metody jego unieszkodliwiania. Dodatkowo, mimo wielu lat uświadamiania społeczeństwa o szkodliwości azbestu, temat ten nadal wywołuje wiele kontrowersji.

Dlatego właśnie w niniejszym artykule skoncentrowano się na przedstawieniu ogólnych informacji o właściwościach, stosowaniu, uwarunkowaniach prawnych oraz metodach jego unieszkodliwiania i wyrobów azbestowych. Ponadto przedstawiono badania zależności między szkodliwym działaniem azbestu a zapadalnością na choroby azbestozależne na przykładzie pylicy azbestowej w Polsce. Dodatkowo omówiono zagrożenia, których źródłem może być azbest podczas prowadzenia przez strażaków działań ratowniczo-gaśniczych.

Informacje ogólne

Azbest to nazwa handlowa grupy minerałów włóknistych [2], które pod względem chemicznym są uwodnionymi krzemianami różnych metali. Zależnie od tego, z jakim metalem krzemiany [3]

they create several types of asbestos with different harmful effects on health [4]. Asbestos is a mineral of two classes: serpentines and amphiboles [5]. The first group includes chrysotile commonly referred to as white asbestos, while the second group includes amosite (brown asbestos), crocidolite (commonly called blue asbestos), anthophyllite, tremolite and actinolite [6–8].

Blue asbestos (crocidolite) is the most hazardous, while white asbestos (chrysotile) is the most widely used for commercial applications and constitutes approximately 90–95% of all asbestos products [9, 10], followed by blue and brown asbestos (amosite) [11]. Figure 1 presents the distribution of varieties of asbestos in the context of their use in industry.

tworzą związek, wyróżnia się kilka typów azbestu o różnej szkodliwości dla zdrowia [4]. Azbesty wchodzą w skład minerałów dwóch klas: serpentynów i ambifoli [5]. Do pierwszej grupy zalicza się chryzotyl zwany azbestem białym, do drugiej – amozyt (tak zwany azbest brązowy), krokidolit (potocznie zwany niebieskim azbestem), antofilit, tremolit i aktynolit [6–8].

Największe zagrożenie dla zdrowia stanowi azbest niebieski (krokidolit), natomiast w przemyśle najszerze zastosowanie znajduje azbest biały (chryzotyl) – około 90–95% wszystkich wyrobów azbestowych [9, 10], następnie azbest niebieski oraz brązowy (amozyt) [11]. Na rycinie 1 przedstawiono podział odmian azbestu w kontekście ich wykorzystania w przemyśle.

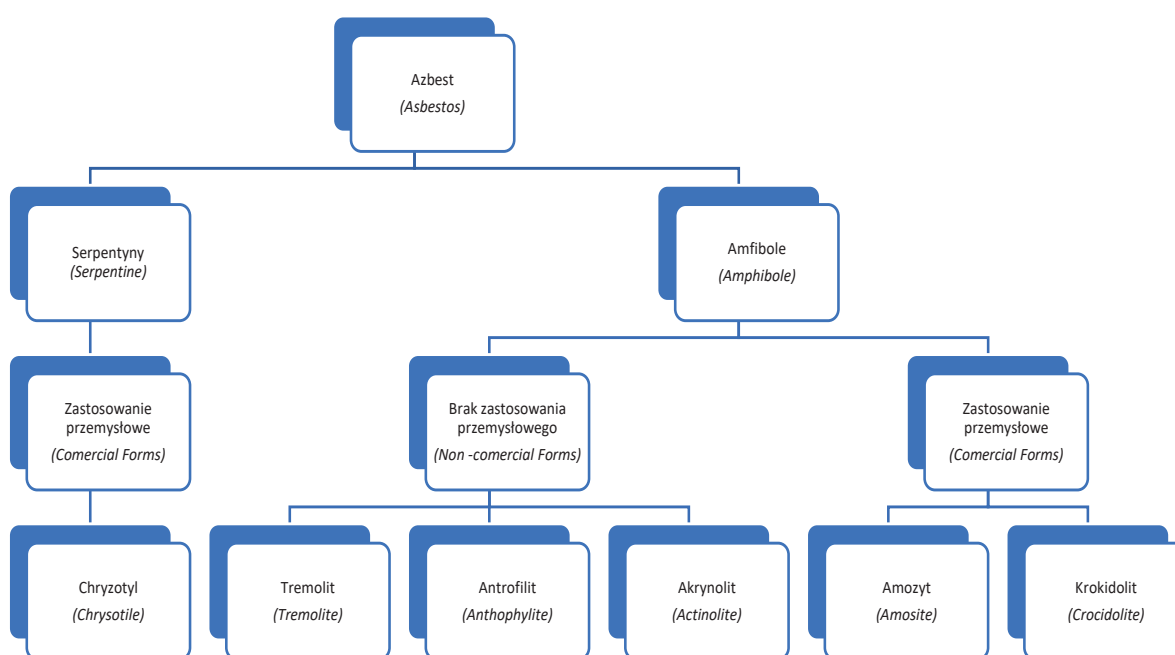


Figure 1. Distribution of varieties of asbestos in the context of their use in industry

Rycina 1. Podział odmian azbestu w kontekście ich wykorzystania w przemyśle

Source / Źródło: T.D. Oury, T.A. Sporn, V.L. Roggli, Erratum to: Pathology of Asbestos-Associated Diseases, Third Edition, w: Pathology of Asbestos-Associated Diseases.; T.D. Oury, T.A. Sporn, V.L. Roggli (red.), Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2016 [12].

The varieties of asbestos differ in terms of their structure and properties. The following table (tab. 1) presents basic information about the respective asbestos varieties.

Asbestos owes its popularity to its unique chemical and physical characteristics [13–15], such as resistance to very high temperatures, chemicals, acids, alkalis and sea water. It is also highly elastic and mechanically durable.

These features caused asbestos to become widely used in the manufacturing of a wide variety of articles, including asbestos-based fabrics, tablecloths, insulation products, tiles, blankets, insulating covers and protective clothing, friction materials and catalysts.

Asbestos was, however, mainly used in the construction industry (fig. 2) [16].

Poszczególne rodzaje azbestu różnią się między sobą budową oraz właściwościami. W poniższej tabeli (tab. 1) przedstawiono zestawienie podstawowych właściwości poszczególnych odmian azbestu.

Azbest popularność zawdzięcza swoim unikalnym właściwościom chemicznym i fizycznym [13–15], takim jak odporność na bardzo wysokie temperatury, działanie chemikaliów, kwasów, zasad oraz wody morskiej. Charakteryzuje się on także dużą sprężystością i wytrzymałością mechaniczną.

Cechy te spowodowały, że znalazł on zastosowanie w produkcji bardzo różnorodnych artykułów, m.in. tkanin azbestowych, obrusów, wyrobów izolacyjnych, dachówek, koców, osłon i kombinizonów izolacyjnych, materiałów ciernych, katalizatorów.

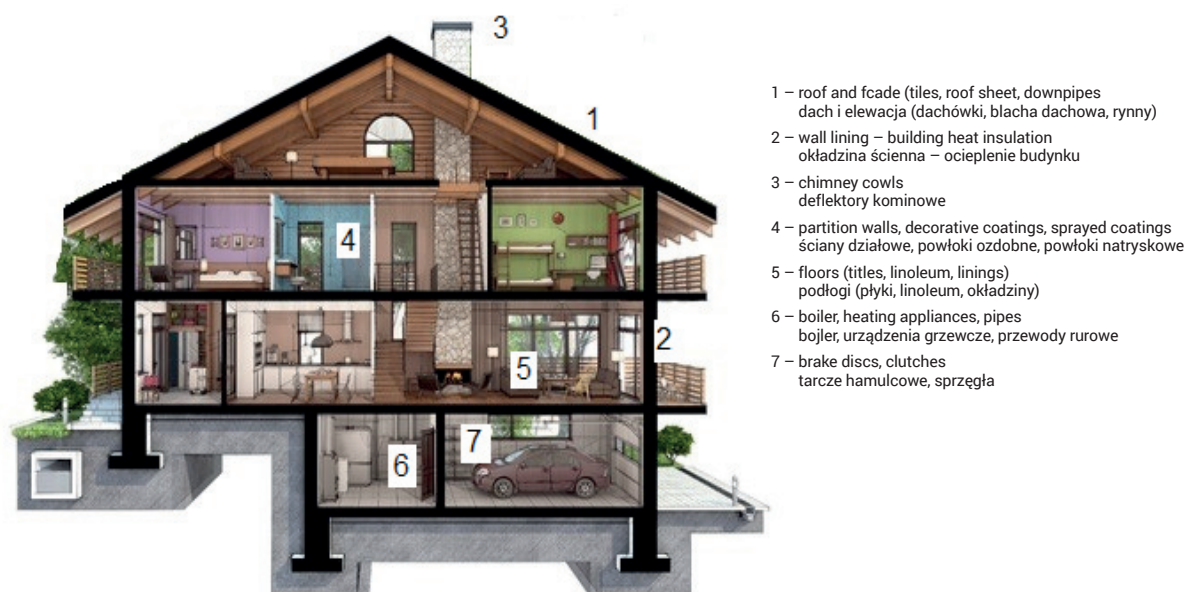
Azbest był wykorzystywany głównie w budownictwie (ryc. 2) [16].

Table 1. List of basic information about different asbestos varieties**Tabela 1.** Zestawienie podstawowych informacji o różnych odmianach azbestu

Commercial name Nazwa handlowa	Chrysotile Chryzotyl	Amosite Amozyt	Crocidolite Krocidolit	Tremolite Tremolit	Actinolite Aktynolit	Anthophyllite Antrofilit
Chemical name Nazwa chemiczna	Hydrous magnesium silicate Uwodniony krzemian magnezu	Iron-magnesium silicate Krzemian żelazowo- magnezowy	Sodium ferric silicate Krzemian sodowo-żelazowy	Calcium-magnesium silicate Krzemian wapniowo- magnezowy	Calcium silicate containing magnesium Krzemian wapniowy zawierający magnez	Magnesium silicate containing iron Krzemian magnezowy zawierający żelazo
Chemical formula Wzór chemiczny	$Mg_6[(OH)_8Si_4O_{10}]$	$(Fe,Mg)_7[(OH)Si_4O_{11}]_2$	$Na_2Fe_3Fe_2[(OH)Si_4O_{11}]_2$	$Ca_2Mg_3[(OH)Si_4O_{11}]_2$	$Ca_2(Mg)[(OH)Si_4O_{11}]_2$	$(Mg,Fe)_7[(OH)Si_4O_{11}]_2$
Density [g/cm ³] Gęstość [g/cm ³]	2.2–2.6	2.8–3.6	2.8–3.6	2.9–3.2	3.0–3.2	2.85–3.2
Hardness according to Mohs scale Twardość w skali Mosha	5–6	5–6	5–6	5–6	5–6	5–6
Decomposition temperature [°C] Temperatura rozkładu [°C]	450–700	600–800	400–600	950–1040	620–960	600–850
Melting/decomposi- tion point [°C] Temperatura topnienia rozkładu [°C]	1500	1400	1200	1315	1400	1450
Solubility in acids Rozpuszczalność w kwasach	56	12	3.14	Brak danych	Brak danych	2.13
Solubility in alkalis Rozpuszczalność w zasadach	1.03	6.82	1.2	Brak danych	Brak danych	1.77

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

**Figure 2.** Diagram showing the location of materials that may contain asbestos**Rycina 2.** Schemat przedstawiające umiejscowienie materiałów mogących zawierać azbest

Source: Freepik after modifying by the author.

Źródło: Freepik po modyfikacji autora.

Despite the fact that asbestos products had been widely used between 1950 and 1990, they are now considered problematic, and the widespread use of asbestos is often referred to as one of the greatest technological mistakes made by the mankind [17].

Given its valuable properties, such as softness, flexibility and fire resistance, in the ancient times asbestos had been regarded as silk in the mysterious world of minerals.

Due to its properties, at the time it was referred to as cotton stone or stone flax. The first asbestos-containing products dated as approximately 4500 years old were discovered during excavations in Finland. Similar products were found in Southern Europe, dated as approximately 2500 years old [18]. In those days, asbestos was primarily used to weave tablecloths and tissues.

The wider use of asbestos products is further discussed in chronicles, which mention it being used for manufacturing candle wicks, non-flammable paper and textile products.

The mass extraction and use of asbestos started at the turn of the 20th century, brought about with the industrial revolution [19]. Asbestos began to be used for numerous industrial and commercial applications. Initially, it was used to make gaskets for steam engines [8, 19], refractory fabrics for firefighters, and in the construction industry – mainly in the form of asbestos and cement slabs [18].

The largest asbestos deposits are located in Canada and Russia (in the Ural Mountains) [18, 20, 21]. In addition, asbestos was manufactured in numerous countries, including Italy, the United States, South Africa, Zimbabwe, China and Brazil [18]. It is estimated that in the 20th century around 174 000 000 tonnes of asbestos [18] were manufactured worldwide.

In Poland, asbestos deposits are located mainly in the Lower Silesia region, in Rędziny near Kamienna Góra and in the Sudetes, however, it has never been mined there [22, 23], mainly because it naturally occurs as an impurity in minerals such as melaphyr, gabro, nickel ore and magnesite [23].

Asbestos was widely used in many technologies, e.g. for manufacturing asbestos and cement slabs (in Poland commonly referred to as *eternit*), textile products (yarns and ropes), friction products (brake discs), waterproofing products (various types of adhesives), floor tiles, filtration materials used in brewing and pharmacy, as well as military gas masks [18, 24].

Currently, asbestos is no longer used for manufacturing the products listed above, while still being used in the aerospace industry (for manufacturing rocket engines in the US space shuttle programme) and in the marine industry (in particular in areas exposed to fire requiring increased heat resistance) [24, 25].

After World War II, over two million tonnes of asbestos were imported to Poland. Most of it was used for the production of asbestos and cement slabs [26–28], primarily applied for roofing. The majority of the asbestos and cement slabs were used in the areas currently known as Mazowieckie and Lubelskie Voivodeships, while these components were the least popular in the Opolskie and Lubuskie Voivodeships.

Asbestos and cement slabs were popular mainly due to their competitive prices in comparison to galvanised sheet or roofing tiles.

Mimo szerokiego stosowania wyrobów azbestowych w latach 1950–1990 obecnie produkty zawierające azbest są uważane za problematyczne, a szerokie zastosowanie azbestu niejednokrotnie nazywa się jedną z największych pomyłek technologicznych ludzkości [17].

Azbest charakteryzujący się cennymi cechami – takimi jak miękkość, giętkość, odporność na ogień – w czasach starożytnych postrzegany był jako jedwab tajemniczego świata minerałów.

Początkowo ze względu na właściwości nazywany był kamieniem bawełnianym lub Inem kamiennym. Pierwsze wyroby zawierające azbest pochodzą sprzed ok. 4500 lat i zostały odkryte podczas wykopalisk w Finlandii. W Europie Południowej znaleziono podobne wyroby sprzed ok. 2500 lat [18]. W tamtych czasach azbest wykorzystywano do tkania obrusów i chusteczek.

Szerze zastosowanie wyrobów z azbestem omawiane jest w kronikach, które opisują jego używanie w knotach do świec, niepalnego papieru, a także w wyrobach tekstylnych.

Masowe wydobywanie i stosowanie azbestu rozpoczęło się na przełomie XIX i XX wieku wraz z rewolucją przemysłową [19]. Azbest zaczęto stosować w wielu dziedzinach gospodarki i przemysłu. Początkowo używano go do wyrobu uszczelnień do silników parowych [8, 19], jako ogniotrwałe tkaniny dla strażaków, a także w budownictwie – głównie w formie płyt eternitowych [18].

Największe złoża azbestu zlokalizowane są w Kanadzie i w Rosji (w górach Ural) [18, 20, 21]. Dodatkowo azbest był produkowany we Włoszech, Stanach Zjednoczonych, Republice Południowej Afryki, Zimbabwe, Chinach, Brazylii [18]. Szacuje się, że w XX wieku wyprodukowano na świecie ok. 174 000 000 ton azbestu [18].

W Polsce azbest występuje w złożach Dolnego Śląska, Rędzinach koło Kamiennej Góry oraz w Sudetach, nigdy jednak nie był tam wydobywany [22, 23] – w głównej mierze z powodu jego występowania w złożach w formie zanieczyszczenia surowców mineralnych takich jak melafir, gabro, rudy niklu czy magnezytu [23].

Azbest stosowano w wielu technologiach, m.in. do wytwarzania płyt azbestowo-cementowych (czyli tak zwanego eternitu), w produkcji wyrobów włókienniczych (przędze i sznury), wyrobów ciernych (tarcze hamulcowe), wyrobów hydroizolacyjnych (różnego rodzaju lepiki), płytek podłogowych, materiałów filtracyjnych wykorzystywanych w piwowarstwie i farmacji, a także w wojskowych maskach przeciwgazowych [18, 24].

Obecnie stosowanie azbestu w produkcji wyżej wymienionych wyrobów zostało zaniechane, natomiast azbest nadal stosuje się w przemyśle kosmicznym (produkcja silników rakietowych w amerykańskim programie wahadłowców kosmicznych) i okrętowym (szczególnie w miejscach narażonych na ogień, wymagających zwiększonej odporności na wysoką temperaturę) [24, 25].

Po II wojnie światowej do Polski sprowadzono ponad dwa miliony ton azbestu, który w większości został użyty do produkcji płyt azbestowo-cementowych [26–28], wykorzystywanych później głównie na pokrycia dachowe. Najwięcej płyt eternitowych zastosowano na terenach obecnego województwa mazowieckiego i lubelskiego, a najmniej – na terenach województwa opolskiego i lubuskiego.

Popularność stosowania płyt azbestowo-cementowych wynikała głównie z konkurencyjnej – w porównaniu do blachy ocynkowanej czy dachówki – ceny.

Legal considerations regarding the application of asbestos

In the mid-1980s, crocidolite asbestos was withdrawn from Poland. Later in 1997 an Act was passed banning the use of products containing asbestos [29]. The Act also specifies the methods and conditions for the safe use and disposal of products containing asbestos.

Such formalised guidelines on the subject were introduced as a method for preventing the growing concerns related to removing asbestos-containing products and the harmful effects of this mineral on human health and body, as confirmed in the 1980s [30].

The Act passed in Poland was also influenced by international efforts for gradually restricting the use of products containing asbestos. The European Economic Community was very active in regulating the manufacturing, use and application of such products, as in 1983 it developed and adopted amendments to Directive 76/769/EEC. These amendments mainly pertained to the regulation of the marketing, use and labelling of products containing asbestos.

1985 saw the introduction of Directive 85/61/EEC, which imposed more severe regulations pertaining to asbestos, as it prohibited these products from being placed on the market or used in toys, sprays, retail powders, tobacco products, catalytic heaters, paints and varnishes [31]. Another document was Commission Directive 91/659/EEC, which adapted to technical progress Annex I to Council Directive 76/769/EEC. The changed legislation placed restrictions on the marketing and use of selected hazardous substances and preparations and placed a ban marketing and use of all types of amphibole asbestos and products containing it [32].

Subsequent EU legislative work resulted in the implementation of Commission Directive 1999/77/EC of 26 July 1999 on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to restrictions on the marketing and use of certain dangerous substances and preparations (OJ L 207, 6.8.1999) [33]. The amended directive has been in force throughout the European Union's area since 2005.

Regulation 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 permits introducing and using asbestos shafts for pulling glass in existing installations until they are fully used up or until asbestos-free alternatives are made available [19, 34].

The next document, Council Directive 87/217/EEC, contains provisions on the prevention and reduction of environmental pollution by asbestos. It contains, among others, the basic requirements for taking action to protect the environment from exposure to dust containing asbestos [35]. The European Union has also issued regulations for managing asbestos-containing waste. Therefore, Council Directive 91/689/EEC [36] was developed and implemented, subsequently replaced by Council Directive 94/31/EC [37] and subsequently by Directive 2008/98/EC on waste [38].

On 27 September 2001, the Regulation of the Minister of the Environment on the waste catalogue [39] was introduced in Poland. The regulation categorised asbestos waste into several groups (table 2).

Uwarunkowania prawne dotyczące stosowania azbestu

W połowie lat osiemdziesiątych XX wieku zaniechano stosowania w Polsce azbestu krokidolitowego. Następnie w 1997 roku uchwalono ustawę o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest [29]. Ustawa ta zawiera informacje o sposobach i warunkach bezpiecznego użytkowania i usuwania wyrobów zawierających azbest.

Przyczyną wprowadzenia wspomnianego dokumentu był rosnący problemem z usuwaniem wyrobów zawierających azbest, a także potwierdzone w latach 80. ubiegłego stulecia szkodliwe oddziaływanie tego minerału na organizm i zdrowie ludzi [30].

Na powstanie ustawy w Polsce wpływ miały także prace nad wprowadzeniem stopniowych ograniczeń stosowania wyrobów zawierających azbest, prowadzone za granicą. Dużą aktywnością w zakresie uregulowania kwestii związanych z wytwarzaniem, wykorzystaniem i stosowaniem takich wyrobów wykazywała Europejska Wspólnota Gospodarcza, która w 1983 r. wypracowała i uchwaliła zmiany do Dyrektywy 76/769/EWG. Dotyczyły one głównie regulacji wprowadzania do obrotu, stosowania i znakowania wyrobów zawierających azbest.

W 1985 r. wprowadzono Dyrektywę 85/61/EWG, która zastrzyła przepisy – zgodnie z nią włókna azbestowe nie mogą być wprowadzane do obrotu ani stosowane przy produkcji zabawek, w materiałach i preparatach aerozolowych, produktach detalicznych w proszku, wyrobach tytoniowych, grzejnikach katalitycznych, farbách i lakierach [31]. Kolejnym dokumentem była Dyrektywa Komisji 91/659/EWG, która dostosowała do stanu technicznego załącznik I do Dyrektywy Rady 76/769/EWG. Dostosowanie to dotyczyło się ograniczeń wprowadzania do obrotu i stosowania niektórych substancji i preparatów niebezpiecznych – zakaz wprowadzania i stosowania wszystkich rodzajów azbestu amfibolowego oraz jego produktów [32].

Kolejne prace nad prawodawstwem europejskim skutkowały wprowadzeniem Dyrektywy Komisji 1999/77/WE z 26 lipca 1999 r. w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych państw członkowskich odnoszących się do ograniczeń we wprowadzaniu do obrotu i stosowaniu niektórych substancji i preparatów niebezpiecznych (Dz. U. WE L 207 z 6 sierpnia 1999 r.) [33]. Po zmianach, od 2005 r., dyrektywa ta obowiązuje na terenie całej Unii Europejskiej.

Natomiast w Rozporządzeniu 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. zapisano, że dopuszcza się wprowadzanie i stosowanie wałów z azbestu, używanych podczas procesu ciągnięcia szkła w istniejących instalacjach, do momentu ich zużycia lub do czasu, kiedy dostępne będą bezazbestowe zamienniki [19, 34].

Kolejny dokument – Dyrektywa Rady 87/217/EWG – zawiera przepisy dotyczące ochrony środowiska przed azbestem. Zawarto w niej m.in. podstawowe wymagania dotyczące podjęcia działań mających na celu ochronę środowiska przed ekspozycją na pyły azbestowe [35]. Unia Europejska zadbała również o temat związany z gospodarowaniem odpadami zawierającymi azbest. W związku z tym opracowano i wprowadzono Dyrektywę Rady 91/689/EWG [36], która następnie została zastąpiona Dyrektywą Rady 94/31/WE [37], a następnie Dyrektywą 2008/98/WE w sprawie odpadów [38].

Table 2. List of asbestos-containing waste [39]**Tabela 2.** Zestawienie odpadów zawierających azbest [39]

Group code Kod grupy	Groups, subgroups and types of waste Grupy, podgrupy i rodzaje odpadów
06 07 01*	Asbestos waste from electrolysis / Odpady azbestowe z elektrolizy
06 13 04*	Waste from asbestos processing / Odpady z przetwarzania azbestu
10 11 81*	Waste containing asbestos / Odpady zawierające azbest
10 13 09*	Waste containing asbestos from the manufacture of cement and asbestos elements Odpady zawierające azbest z produkcji elementów cementowo-azbestowych
15 01 11*	Metal packaging containing dangerous porous structural strengthening elements (e.g. asbestos), including empty pressure tanks Opakowania z metali zawierające niebezpieczne porowate elementy wzmocnienia konstrukcyjnego (np. azbest), włącznie z pustymi pojemnikami ciśnieniowymi
16 01 11*	Brake linings containing asbestos / Okładziny hamulcowe zawierające azbest
16 02 12*	Discarded equipment containing free asbestos / Zużyte urządzenia zawierające wolny azbest
17 06 01*	Insulating materials containing asbestos / Materiały izolacyjne zawierające azbest
17 06 05*	Construction materials containing asbestos / Materiały konstrukcyjne zawierające azbest

*Hazardous waste

*Odpad niebezpieczny

Countries outside the European Union have developed their own internal regulations for asbestos and products containing asbestos. The level of regulation varies between countries, depending mainly on their development. Developed countries in general have higher level of awareness with regard to the harmful effects of asbestos products, however, the knowledge is not always reflected by legal provisions and consistent actions.

The changes implemented in various countries' legislation in 2000 and 2015 are presented in figure 3. Countries which have not banned asbestos and asbestos materials are highlighted in red, while countries that have significantly restricted or banned asbestos and materials containing asbestos are highlighted in green. White colour designates countries for which no data is available.

Figure 3 shows that the international awareness of the harmfulness of asbestos is increasing. Each year more and more countries are imposing restrictions on the use of the substance.

The use of asbestos and products containing it as a component is banned in 66 countries, mainly highly developed ones [41, 42]. Despite numerous changes in legislation, countries such as Russia, Brazil, China and Kazakhstan are continuing to manufacture products containing asbestos, while in countries and regions such as India, China, Brazil, Russia and Indonesia products with asbestos still remain widely used [43, 44]. The continued use of these products is determined by the unique properties of asbestos which are difficult to replace by other materials [30]. In addition, it is often the case that these products are manufactured and used without or with limited protective measures preventing the adverse effects of the mineral.

Dnia 27 września 2001 r. w Polsce wprowadzono Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie katalogu odpadów [39], gdzie odpady zawierające azbest zostały umieszczone w różnych grupach (tab. 2)

Państwa poza Unią Europejską posiadają swoje wewnętrzne regulacje prawne odnoszące się do azbestu i wyrobów azbestowych. Poziom regulacji prawnych w poszczególnych krajach jest zróżnicowany i w głównej mierze zależy od stopnia ich rozwoju. W państwach wysokorozwiniętych poziom świadomości dotyczący szkodliwości wyrobów jest wyższy, ale nie zawsze idzie w parze z zapisami aktów prawnych i konsekwentnymi działaniami.

Wprowadzanie zmian w prawodawstwie obowiązującym w latach 2000 i 2015 w poszczególnych krajach świata zobrazowano na rycinie 3. Kolorem czerwonym zaznaczono państwa, które nie wprowadziły zakazu stosowania azbestu i materiałów azbestowych, a zielonym – kraje, które wprowadziły znaczne ograniczenia lub zakaz stosowania azbestu i materiałów zawierających azbest. Kolor biały oznacza kraje, co do których brak jest danych dotyczących użytkowania azbestu.

Z ryciny 3 wynika, że ogólnoswiatowa świadomość szkodliwości azbestu jest coraz wyższa i z roku na rok coraz więcej państw wprowadza obostrzenia w jego stosowaniu.

Na świecie zabroniono użytkowania azbestu i wyrobów zawierających azbest w 66 krajach – głównie w państwach wysokorozwiniętych [41, 42]. Mimo wielu zmian prawnych w krajach takich jak: Rosja, Brazylia, Chiny i Kazachstan nadal produkowane są wyroby azbestowe, a w krajach i regionach takich jak: Indie, Chiny, Brazylia, Rosja i Indonezja artykuły zawierające azbest nadal są powszechnie używane [43, 44]. Determinują to unikatowe właściwości azbestu, które są trudne do zastąpienia przez inne materiały [30]. Co gorsza produkcja i stosowanie wyrobów azbestowych odbywa się niejednokrotnie z pominięciem lub tylko z minimalnym wykorzystaniem środków ochrony przed działaniami niepożądanymi tego minerału.

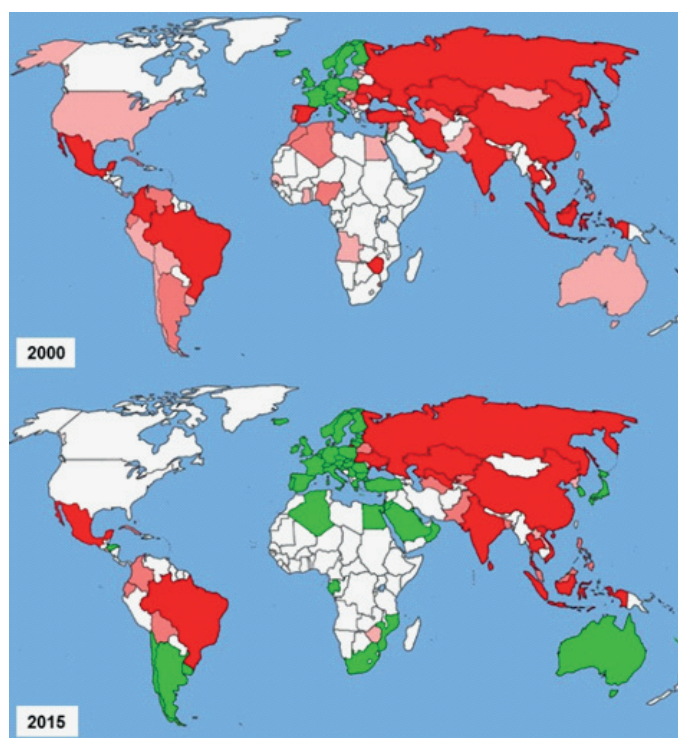


Figure 3. Comparison of the application and introduction of its limitations in 2000 and 2015

Rycina 3. Porównanie stosowania i wprowadzenia jego ograniczeń w latach 2000 i 2015

Source / Źródło: Chronology of Asbestos Bans and Restrictions. http://ibasecretariat.org/chron_ban_list.php [dostęp 22.03.2019].

The impact of asbestos on humans

Asbestos and its use have a negative impact on both the environment and human life and health [24, 45]. Environmental pollution with asbestos may result from natural processes such as erosion and crumbling of rocks or from the extraction, production, use, disposal or spontaneous destruction of products containing asbestos [46–50].

The harmful effects of asbestos on the human body were already confirmed in the 1970s, and its carcinogenic properties were proven subsequently [51–53].

In terms of human health, the most hazardous component of asbestos are the so-called respirable fibres, which are inhaled into the body along with other contaminants. These fibres are retained in the respiratory tract and contribute to lung diseases [21]. Persons employed for the extraction, processing or disposal of asbestos or asbestos products constitute the main group exposed to the undesirable effects of asbestos fibres. Exposure to asbestos coming from natural sources, the so-called environmental exposure, constitutes a distinct category. However, natural sources have a negligible impact on human morbidity, as they are located in dispersed areas with sparse population [45, 50].

Considering the ban on asbestos products and the necessity to remove asbestos products from the country, a much greater risk is attached to the demolition and disassembly of products containing asbestos [21].

Inhaling asbestos fibres with air [54] or having them enter the digestive tract has negative consequences. Among these adverse

Wpływ azbestu na człowieka

Azbest negatywnie wpływa na zdrowie i życie ludzi [24, 45]. Stosowanie go jest nieekologiczne. Zanieczyszczenie środowiska azbestem może być efektem procesów naturalnych wietrzeń skał lub też skutkiem wydobywania, produkcji, użytkowania, usuwania lub samoistnego niszczenia wyrobów azbestowych [46–50].

Szkodliwe oddziaływanie azbestu na organizm ludzki potwierdzono już w latach 70. ubiegłego wieku, a następnie udowodniono jego kancerogenność [51–53].

Dla człowieka najgroźniejsze są tak zwane włókna respirabilne, które dostają się do organizmu poprzez wdychanie powietrza wraz z zanieczyszczeniami. Włókna te zatrzymują się w układzie oddechowym i są przyczynkiem do chorób płuc [21]. Narażone na niepożądane działanie włókien azbestu są głównie osoby pracujące przy wydobywaniu, przetwarzaniu lub usuwaniu azbestu bądź też wyrobów azbestowych. Wyróżnia się również narażenie na azbest pochodzący ze źródeł naturalnych – tak zwaną ekspozycję środowiskową. Jednakże źródła naturalne mają znikomy wpływ na zachorowalność ludzi, gdyż znajdują się one na terenach mało zaludnionych i są rozproszone [45, 50].

Natomiast ze względu na zakaz produkcji wyrobów azbestowych i konieczność usuwania z terenów kraju wyrobów azbestowych największe zagrożenie powodują prace rozbiórkowe i demontażowe wyrobów zawierających azbest [21].

Dostawanie się włókien azbestowych do organizmu człowieka z wdychanym powietrzem [54] czy drogą pokarmową niesie

effects are lung diseases (including lung cancer), asbestosis, pleural lesions and pleural mesothelioma [28, 55]. Figure 4 demonstrates the severity of the problem, as it presents the number of cases of asbestosis in Poland between 1970 and 2016. The risk of developing cancer of the larynx, throat, stomach, ovaries and other tissues is also increased [23, 27, 50, 56, 57].

ze sobą negatywne skutki. Wśród takich niepożądanych skutków należy wymienić choroby płuc (w tym choroby nowotworowe płuc), pylicę azbestową, zmiany opłucnej czy też międzybłonniak opłucnej [28, 55]. Dla zobrazowania stopnia problemu na rycinie 4 przedstawiono liczbę zachorowań na pylicę azbestową w Polsce w latach 1970–2016. Zwiększone jest również ryzyko zachorowań na nowotwory krtani, gardła, żołądka, jajników oraz innych tkanek [23, 27, 50, 56, 57].

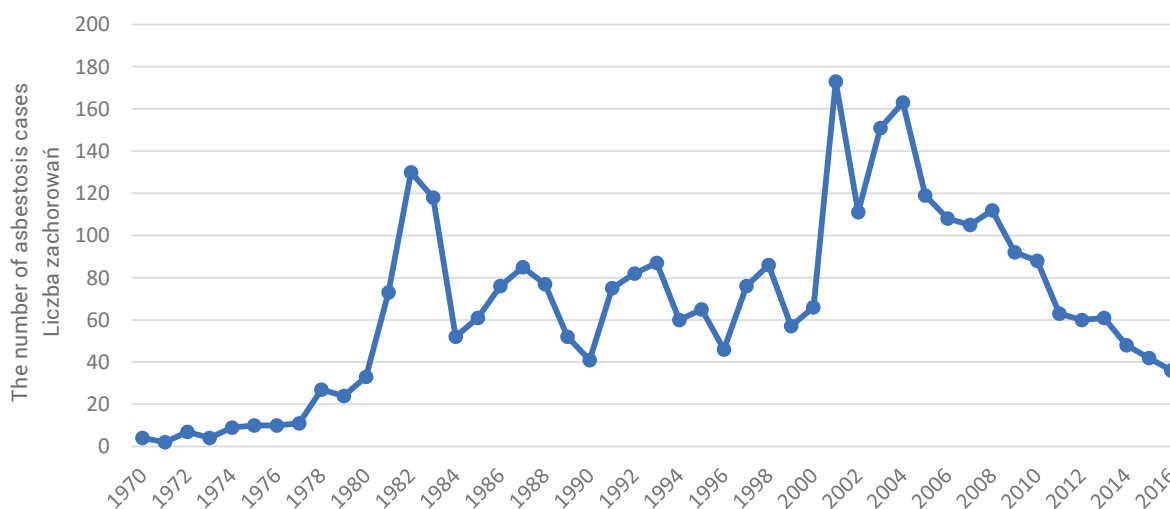


Figure 4. The number of asbestosis cases in Poland in 1970–2016 (own work based on [58–72])

Rycina 4. Liczba przypadków zachorowań na pylicę azbestową w Polsce w latach 1970–2016 (opracowanie własne na podstawie [58–72])

Disposal of asbestos and products containing asbestos

Changes in national legislation force the gradual removal of products containing asbestos. This study is carried out on the basis of the programme “Elimination of asbestos and asbestos-containing products used in Poland”, which is based on the resolution adopted by the Sejm of the Republic of Poland of 19 June 1997 on the programme for removing asbestos and products containing asbestos used in Poland [73] and the Act of 19 June 1997 [29] on the prohibition of the use of products containing asbestos and secondary legislation.

The planned completion date for removing all asbestos products is 2032 [74]. This obligation was imposed by the legal provisions; however, the Act does not assign that task to any official body, but rather spreads it out over multiple authorities.

The disposal of asbestos and products containing asbestos is a complicated issue. Currently, asbestos utilisation is carried out in five ways:

- chemical degradation of asbestos – conversion of asbestos into non-fibrous forms or components of harmless products;
- physical degradation of asbestos;
- biological degradation of asbestos (natural degradation);

Unieszkodliwianie azbestu i wyrobów azbestowych

Zmiany w prawodawstwie krajowym zobowiązują do stopniowego usuwania wyrobów azbestowych. Prace te prowadzone są na podstawie „Programu usuwania azbestu i wyrobów zawierających azbest stosowanych na terytorium Polski”, który opiera się na rezolucji Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z 19 czerwca 1997 roku w sprawie programu wycofywania azbestu i wyrobów zawierających azbest, stosowanych na terytorium Polski [73] oraz ustawy z dnia 19 czerwca 1997 roku [29] o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest oraz odpowiednich aktów wykonawczych do niej.

W Polsce prace nad całkowitym usuwaniem wyrobów azbestowych mają zostać zakończone w 2032 roku [74]. Obowiązek ten został narzucony ogólnie, ale prawodawstwo nie przypisało tego zadania jednemu resortowi, a zobowiązało do tego wiele organów.

Unieszkodliwianie azbestu i wyrobów zawierających azbest jest trudnym zagadnieniem. Obecnie utylizację głównie prowadzi się pięcioma sposobami:

- chemiczna degradacja azbestu – przekształcenie azbestu w formy niewłókniste lub składniki niegroźnych wyrobów;
- fizyczna degradacja azbestu;
- biologiczna degradacja azbestu (naturalna degradacja);
- składowanie azbestu na składowiskach powierzchniowych;

- storage of asbestos in surface disposal sites;
- storage of asbestos in underground storage sites (e.g. in mining excavation sites).

The chemical degradation of asbestos products is not a simple task, mainly because of its relatively high chemical resistance. Substances such as hydrofluoric acid and fluorosulphonic acid completely dissolve asbestos [75–77], but introducing fluoride into the environment is as controversial as the use of asbestos. Research shows that heating asbestos with borax and a mixture of orthophosphoric acid with ammonium fluoride at a temperature of approximately 500°C can potentially neutralise asbestos fibres, causing the total degradation of asbestos structure and turning it into an amorphous structure [78]. Another way to neutralise asbestos is to rinse out magnesium and iron ions with polycarboxylic acids [79] in conjunction with ultrasound and high temperature. Another method used to neutralise asbestos involves a combination of chemical degradation and mechanical operations, such as grinding, which facilitates the chemical degradation of asbestos [80, 81].

The physical degradation of asbestos is carried out mainly through the application of high temperatures of 500°C, 700°C, 950°C and 1050°C [53, 82–84, 84]. The most commonly used thermal process involves burning asbestos slabs at 1200°C, which leads to a product resembling clinker [52, 82, 85]. It is also possible to neutralise asbestos through microwave treatment [86, 87].

Biological degradation of asbestos products involves the use of natural mosses, lichens or algae in the aquatic environment, which degrade those products by releasing organic acids [88, 89]. However, these processes occur at normal temperatures, and thus take a long time. Therefore, spontaneous natural degradation is not viable as a natural method for solving the issues related to asbestos products. Nature should be observed and used as a source of knowledge, aiming at combining natural processes with mechanical or thermal processing [13].

The large-scale method used currently involves storing asbestos on surface disposal sites [90, 91]. The disposal of asbestos in this case consists in storing asbestos products in adequately prepared locations in municipal landfills. The procedure is cheap, however, it requires constant monitoring of such landfills and has a negative impact on the aesthetics of the landscape and on the environment.

Another method for neutralising asbestos and asbestos products includes underground storage, most often in mining excavation sites. This method involves storing asbestos products in unused mines and then backfilling them in order to rehabilitate the area [49]. This operation, however, requires ongoing hydrological monitoring [92].

In addition to the aforementioned methods of eliminating asbestos-containing waste and products, many other methods are at the stage of experimental research and laboratory testing. These include, for example vitrification, which consists in “neutralising” the undesirable properties of asbestos in temperatures of 1,500°C [93]. The final product of that is an amorphous substance with high hardness which can be used for construction. The disadvantage of that process is that it requires large amounts of electricity [24].

- składowanie azbestu na składowiskach podziemnych (np. w wyrobiskach kopalnianych).

Chemiczna degradacja wyrobów azbestowych nie jest prosta, ponieważ są to substancje o stosunkowo dużej odporności chemicznej. Istnieją substancje – takie jak kwas fluorowodorowy i kwas fluorosulfonowy – całkowicie trawiące azbest [75–77], jednakże wprowadzanie do środowiska fluoru jest nie mniej kontrowersyjne od wprowadzenia azbestu. Badania wygrzewania azbestu z boraksem i mieszaniną kwasu ortofosforowego z fluorkiem amonu przeprowadzone w temperaturze ok. 500°C wykazały możliwość neutralizacji włókien azbestu – całkowitej degradacji struktury azbestu i powstania struktury amorficznej [78]. Innym sposobem neutralizacji azbestu jest wypłukanie z jego struktur jonów magnezu i żelaza kwasami wielokarboxylowymi [79], przy wspomaganie ich działania ultradźwiękami i podwyższoną temperaturą. Wykorzystuje się również połączenie degradacji chemicznej z operacjami mechanicznymi, takimi jak np. mielenie, które ułatwia chemiczną degradację azbestu [80, 81].

Fizyczna degradacja azbestu jest prowadzona głównie poprzez oddziaływanie termiczne wysokich temperatur 500°C, 700°C, 950°C i 1050°C [53, 82–84, 84]. Najczęściej stosowany proces termiczny to wypalanie eternitu w temperaturze 1200°C, dzięki czemu otrzymuje się produkt przypominający klinkier [52, 82, 85]. Możliwe jest również unieszkodliwianie azbestów poprzez działanie mikrofal [86, 87].

Biologiczna degradacja wyrobów azbestowych jest metodą naturalnego oddziaływania mchów, porostów lub glonów w środowisku wodnym, które wydzielając kwasy organiczne, prowadzą do degradacji takich wyrobów [88, 89]. Ponieważ jednak procesy te zachodzą w temperaturach normalnych, wymagają długiego czasu. W związku z tym nie należy liczyć na samodzielną naturalną degradację i samoistne rozwiązanie problemu wyrobów azbestowych. Naturę należy obserwować i próbować z niej czerpać wiedzę, łącząc działanie natury z obróbkami mechanicznymi lub termicznymi [13].

Składowanie azbestu na składowiskach powierzchniowych jest obecnie metodą stosowaną na szeroką skalę [90, 91]. Unieszkodliwianie azbestu w taki sposób polega na składowaniu wyrobów azbestów w odpowiednio przygotowanych miejscach znajdujących się na składowiskach komunalnych. Opisany sposób postępowania – choć stosunkowo tani – wymaga ciągłego monitorowania takich składowisk oraz wpływa negatywnie na estetykę krajobrazu i środowisko.

Inną metodą unieszkodliwiania azbestu i wyrobów azbestowych jest składowanie podziemne, które najczęściej odbywa się w wyrobiskach górniczych. Metoda ta polega na składowaniu wyrobów w nieczynnych kopalniach, a następnie zasypywaniu ich w celu rekultywacji terenu [49]. Podczas wykonywania tego typu operacji konieczny jest stały monitoring hydrologiczny [92].

Poza wyżej przedstawionymi metodami eliminacji odpadów i wyrobów zawierających azbest wiele innych znajduje się na etapie badań eksperymentalnych i testowanych w skali laboratoryjnej. Wśród nich można wymienić między innymi metodę wityfikacji, która polega na „unieszkodliwianiu” niepożądanych właściwości azbestu poprzez działanie temperatur 1500°C [93]. Produktem końcowym tak przeprowadzonego procesu jest

Disposal can also be carried out using a method referred to as MTT (*Microwave Thermal Treatment*). That method is based on the simultaneous use of mechanical and thermal processing in a high-energy reactor (temperatures of approximately 900–1100°C) using microwave energy. During the process, crystalline asbestos fibres are torn and transformed into an amorphous form. The final product of that process is neutral to the environment, as well as to humans and animals. It can be used for industrial purposes, e.g. as a filler for concrete mixes [93, 94].

Another noteworthy method for neutralising asbestos involves microwave thermal inertisation. That process alters asbestos fibres and transforms it into an inert magnesium oxide [85, 95].

Another disposal method involves plasma destruction technology. Plasma makes it possible to obtain temperatures in the range between 5000–20 000°C in an anaerobic atmosphere, which enables the decomposition of inorganic compounds. The main products of that process include CO, H₂, CO₂, HCl and inorganic waste, vitrite. The gases produced during the process can be converted into a gas fuel. The final product, on the other hand, is amorphous and can be used for manufacturing construction elements or in road construction [92].

Currently, the most frequently used method of asbestos disposal in Poland involves its storage in designated areas. Since 2010 (i.e. since the introduction of the resolution [73]), only part of asbestos waste has been disposed of; the relevant data is presented in figure 5.

amorficzna substancja charakteryzująca się wysoką twardością, która może być stosowana w budownictwie. Wadę stanowi tu konieczność dostarczenia do realizacji procesu dużych ilości energii elektrycznej [24].

Utylizację można również prowadzić przy wykorzystaniu MTT (*Microwave Thermal Treatment*). Metoda ta polega na jednoczesnym użyciu obróbki mechanicznej oraz obróbki termicznej w wysokoenergetycznym reaktorze (temp. ok. 900–1100°C) wykorzystującym energię mikrofalową. W trakcie procesu krystaliczne włókna azbestu poprzez rozrywanie zamieniane są na formę bezpostaciową. Produkt końcowy takiego procesu jest obojętny dla środowiska, a także dla ludzi i zwierząt. Z powodzeniem może być wykorzystywany w przemyśle np. jako wypełniacz do mas betonowych [93, 94].

Wartą uwagi metodą unieszkodliwiania azbestu jest również inertyzacja z grzaniem mikrofalowym. Tak przeprowadzony proces powoduje modyfikację struktur włóknistych azbestu z jednoczesnym przekształceniem go w obojętny tlenek magnezu [85, 95].

Kolejny sposób utylizacji to zastosowanie technologii plazmowej destrukcji. Plazma pozwala uzyskać temperatury rzędu 5000–20000°C w atmosferze beztlenowej, co umożliwia rozkład związków nieorganicznych. W procesie tym głównymi produktami są CO, H₂, CO₂, HCl oraz odpady nieorganiczne – wityrt. Powstające w trakcie procesu gazy mogą zostać przetworzone na paliwo gazowe. Natomiast produkt końcowy jest amorficzny i może być wykorzystywany do wytwarzania elementów budowlanych lub w budownictwie drogowym [92].

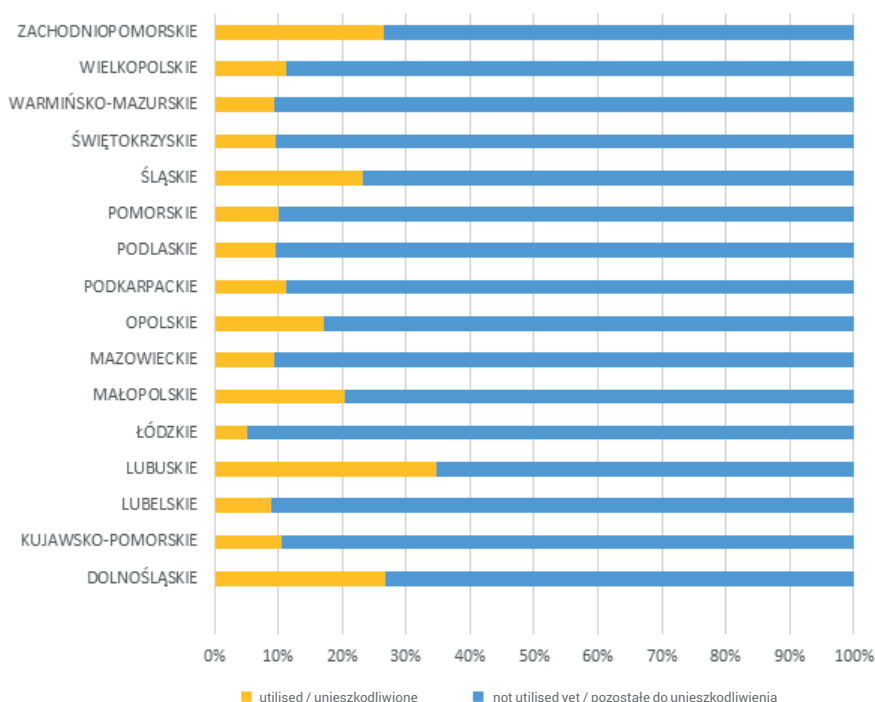


Figure 5. Statistical summary of the utilisation of asbestos and asbestos products in Poland [44, 96]

Rycina 5. Zestawienie statystyczne utylizacji azbestu i wyrobów azbestowych w Polsce [44, 96]

Considering the fact that half of the time limit envisaged by the legislator for the complete elimination of asbestos from Poland has already passed, the results achieved in individual voivodeships are not optimistic.

Aktualnie najczęściej stosowaną metodą unieszkodliwiania azbestu w Polsce jest jego składowanie we wskazanych specjalnie przeznaczonych do tego celu miejscach. Od roku 2010 (czyli od wprowadzenia rezolucji [73]) do dnia dzisiejszego unieszkodliwiono tylko część odpadów azbestowych, co zostało zobrazowane na rycinie 5.

Biorąc pod uwagę, że minęła połowa czasu narzuconego przez prawodawcę do całkowitego unieszkodliwienia azbestu z terenu Polski, to efekty działań poszczególnych województw nie napawają optymizmem.

Hazards related to rescue and firefighting operations

Construction materials containing asbestos are still found in many residential and commercial buildings. Asbestos occurs most commonly in asbestos and cement slabs, which have been used as roofing or insulation for buildings.

During a fire, building materials containing asbestos usually crack or crumble. In the event of a fire in a building with components containing asbestos, flakes of asbestos may be released as a result of a pressure build-up inside the component. Such fires may create asbestos debris, including unburned and partially burned asbestos. Some materials containing asbestos are prone to severe damage by fire. Air monitoring during and after fires indicates that asbestos fibre concentrations are usually very low. The probable cause may be the low number of fibres getting released into the air and the large volumes of air circulating as a result of fire. Asbestos fibres are also prone to degradation when exposed to high temperatures for a sufficiently long time.

Asbestos fibres pose a health hazard only if they are respirable. Construction materials containing asbestos may release small fibre particles into the air. However, air monitoring of fires in progress and after their extinguishing shows that very low amounts of asbestos fibres are generated. After each fire, asbestos levels in the air return to the normal levels observed prior to the fire [97].

Moving around an area with building materials containing asbestos or where the wind blows over such materials is unlikely to cause an increase of asbestos amounts in the air. Significant exposure to asbestos fibres occurs when asbestos products are dismantled or during the demolition of buildings damaged by fire. Demolitions must be carried out safely and carefully in order to ensure the lowest possible levels of asbestos fibres in the air.

In general, asbestos in buildings damaged by fires does not pose a high risk to public health. However, there are cases when firefighters and other services are exposed to the negative impact of asbestos [98]. This was the case, among others, during the works carried out on "Ground Zero" after the terrorist attack on the World Trade Center in 2001 [99]. It is estimated that approximately 5000 tonnes of asbestos were used for the construction of the WTC [100]. The component was used, among others, in the northern tower in insulating elements, drywalls, fireproof materials and lift shafts up to the 40th floor [101]. When the WTC buildings collapsed due to the attack,

Zagrożenia podczas działań ratowniczo-gaśniczych

Materiały budowlane zawierające azbest wciąż znajdują się w wielu budynkach mieszkalnych oraz budynkach gospodarczych. Najczęściej azbest występuje w płytach eternitowych, które były używane jako pokrycia dachowe lub jako docieplenia budynków.

Podczas pożaru materiały budowlane zawierające azbest zazwyczaj pękają lub kruszą się. W trakcie pożarów budynków, w których zastosowano materiały azbestowe, może dochodzić do uwalniania płatków materiału azbestowego (np. z eternitu) wskutek nagromadzenia ciśnienia wewnątrz materiału. Takie pożary mogą powodować powstawanie szczątków azbestu, Monitorowanie powietrza podczas pożarów i po ich ugaszeniu wskazuje, że stężenia włókien azbestu są zazwyczaj bardzo niskie. Prawdopodobnie wynika to z niskiej liczby włókien faktycznie uwolnionych do powietrza i dużych objętości powietrza krążących wskutek pożaru. Włókna azbestowe mogą również ulec destrukcji po wystawieniu ich na działanie wysokich temperatur przez wystarczająco długi czas.

Włókna azbestowe stanowią zagrożenie dla zdrowia tylko wtedy, gdy są tzw. respirabilne. W przypadku materiałów budowlanych zawierających azbest możliwe jest uwalnianie drobnych włókien do powietrza. Jednak monitorowanie stanu powietrza podczas pożarów oraz po ich ugaszeniu wykazało, że włókien tych jest niewiele. Po pożarze zawartość azbestu w powietrzu wraca do typowych poziomów (sprzed pożaru) [97].

Poruszanie się po obszarze, w którym znajdują się materiały budowlane zawierające azbest lub wiatr wiejący nad takim obszarem, prawdopodobnie nie spowodują wytworzenia znacznych ilości azbestu w powietrzu. Znaczne narażenie na wdychanie włókien azbestowych występuje podczas demontażu wyrobów azbestowych lub wyburzania budynku zniszczonego przez pożar. Prace rozbiórkowe i wyburzeniowe muszą być wykonywane z zachowaniem bezpieczeństwa i wszelkiej ostrożności, tak aby zapewnić utrzymanie bardzo niskiego poziomu włókien azbestu w powietrzu.

Ogólnie rzecz biorąc, azbest w budynkach zniszczonych przez pożary zazwyczaj stanowi nikłe zagrożenie dla zdrowia publicznego. Istnieją jednak sytuacje, gdy strażacy i pracownicy innych służb są narażeni na negatywne działanie azbestu [98]. Działo się tak m.in. podczas prac prowadzonych na gruzowisku powstałym po zamachu terrorystycznym na World Trade Center w 2011 r. [99]. Szacuje się, że do budowy WTC użyto ok. 5000 ton

a considerable volume of dust was elevated into the air, possibly containing asbestos.

It is estimated that approximately 400 000 people were exposed to the possibility of inhaling the dust generated during that disastrous event. They included mainly the participants of rescue operations carried out in the area as well as the cleaning personnel hired after the rescue operations had been completed. However, air analysis showed that ambient exposure to asbestos has only slightly increased the risk of cancer among Lower Manhattan residents [102, 103].

The literature shows little evidence of the danger posed by asbestos in a burning building. However, following the attack on WTC, studies have shown [104] that blood and urine analyses of 370 firefighters participating in the works carried out at the WTC site were mainly exposed to PAHs, which are known combustion products. In addition, antimony, lead and dioxins and furans were detected in the samples taken, but the quantity of these substances was within the norm. The author of the research indicates that the detection of other substances (including, among others, asbestos and glass fibres) was not possible [104].

The study titled *The public health significance of asbestos exposures from large scale fires* [102] stressed that the majority of asbestos released in the event of a fire is in the form of clustered non-respiratory fibres. Also, some fibres are subject to "denaturation" as a result of a fire. This means that the amount of respirable fibres is fairly small. In addition, these fibres are dispersed with large air masses moving around with fires and their amount in any given area depends mainly on the temperature of the fire and the amount of emitted heat, the distance from the fire (the further away the smaller the concentration of fibres) and meteorological conditions [102].

Similar conclusions were drawn in the study carried out by N.J. Lewis and M.F. Curtis [105], focusing on the results of air tests after the Birmingham warehouse fire. The authors of the study tested the air samples taken between 1-18 days after the fire by means of phase contrast microscopy (PCM). It determined that the amount of fibres detected in the samples was within the accepted standards [105].

Similar tests were also carried out after the Tranmere factory fire, which took place in England on 22 September 1994, except that in this case no samples were taken immediately after the fire, and the tests involved precipitation samples. These samples also contained asbestos fibres in the amounts not exceeding the standards [102, 106]. Despite the results of the study [102, 104, 105], the authors stated that diseases caused by the inhalation of asbestos most often begin to develop after around 20-30 years of exposure, therefore it is predicted that an increase in the number of asbestos-related diseases will begin to rise between 2030 and 2040 [107]. It is therefore extremely important to perform the ongoing monitoring of the health of persons with the highest exposure during rescue and firefighting operations, i.e. firefighters-rescuers.

In the event of fire involving the combustion of asbestos components, it is recommended for the service personnel within 300 metres around the fire to use personal protective equipment. Firefighters, as the persons closest to the danger

azbestu [100]. Wykorzystywano go między innymi w wieży północnej w elementach izolacyjnych, płytach gipsowo-kartonowych, materiałach ognioodpornych i w szybach windowych do 40 piętra [101]. Po zawaleniu się wskutek ataku budynków WTC w powietrze uniesione zostały pyły zawierające prawdopodobnie również azbest.

Z danych szacunkowych wynika, że ok. 400 000 ludzi było narażonych na wdychanie pyłów z tej katastrofy. Byli to głównie uczestnicy akcji ratowniczych z gruzowiska oraz osoby porządkujące teren WTC po zakończeniu działań ratowniczych. Po wykonanych analizach powietrza stwierdzono jednak, że narażenie na działanie azbestu w otaczającym powietrzu spowodowało jedynie nieznaczny wzrost ryzyka wystąpienia raka u mieszkańców Dolnego Manhattanu [102, 103].

W literaturze tematu istnieje niewiele materiałów mówiących o zagrożeniu, jakie może powodować azbest będący np. w palącym się budynku. Jednakże po ataku na WTC pojawiły się opracowania [104] podające, że z analiz krwi i moczu pobranych od 370 strażaków biorących udział w akcji na gruzowiskach WTC wynika, że strażacy byli w głównej mierze narażeni na WWA, które są znanymi produktami spalania. Ponadto w pobranych próbkach wykryto obecność antymonu, ołowiu, oraz związków z grupy dioksyn i furanów, jednakże ilość tych substancji zawierała się w ustalonych normach. Autor badań wskazuje, że ustalenie obecności innych substancji (w tym m.in. azbestu i włókien szklanych) było niemożliwe [104].

W pracy pt. *The public health significance of asbestos exposures from large scale fires* [102] podkreślono, że podczas pożaru większość azbestu zostanie uwolniona w postaci skupisk włókien, które nie będą respirabilne. Również część włókien w trakcie pożaru ulegnie „denaturacji”. Oznacza to, że ilość włókien respirabilnych będzie mała. Dodatkowo włókna te ulegną rozproszeniu poprzez ruch dużych mas powietrza towarzyszących pożarom i ich ilość w danym miejscu będzie zależna w głównej mierze od temperatury pożaru i ilości ciepła przez niego wydzielanego, odległości od pożaru (im dalej tym mniejsze stężenie włókien) oraz warunków metrologicznych [102].

Podobne wnioski zostały zawarte w pracy N.J. Lewis i M.F. Curtis [105] opisującej wyniki badań powietrza po pożarze magazynu w Birmingham. Autorzy badania przeprowadzili na próbkach powietrza pobranych w okresie 1–18 dni po pożarze i poprzez zastosowanie analizy z użyciem mikroskopii z kontrastem fazowym (PCM) określili, że ilość włókien wykrytych w próbkach mieści się w przyjętych normach [105].

Analogiczne badania wykonano również po pożarze fabryki w Tranmere w Anglii 22 września 1994 roku. W tym przypadku pobrane i zbadane próbki pochodziły z opadów atmosferycznych. Wyniki wykazały obecność włókien azbestowych w ilościach nieprzekraczających norm [102, 106].

Mimo otrzymanych wyników badań [102, 104, 105] autorzy stwierdzili, że ze względu na to, że choroby wywołane wdychaniem azbestu najczęściej zaczynają rozwijać się po ok. 20–30 latach od ekspozycji, przewiduje się, że wzrost zachorowań na choroby azbestowe będzie notowany w latach 2030–2040 r. [107]. Dlatego też niezmiernie ważne jest monitorowanie stanu zdrowia osób, które były najbardziej narażone podczas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych, czyli strażaków ratowników.

[102, 108], should absolutely use breathing apparatus to avoid breathing in asbestos-containing dust. Most of the protective equipment used by firefighters eliminates exposure to fibres, but in the secondary stages of rescue and firefighting operations, firefighters happen to remove protective equipment for greater comfort of work, being unaware of the presence of high levels of asbestos fibres in the air.

The application of numerical modelling in the monitoring the release of asbestos dust or thermal decomposition products through the dispersion of such pollutants in the atmosphere may be helpful in such cases. However, the background levels [102, 109, 110] must also be taken into account. Taking advantage of the possibilities offered by numerical modelling may also prove useful for the persons responsible for managing rescue operations [111].

In addition, good working practice shows that spraying water on debris during demolition or after collapse is advisable to ensure that the dust, including the asbestos-containing dust, remains at a relatively low level. However, in a massive event such as the collapse of the WTC towers, that solution was impossible [112].

Summary and conclusions

Asbestos and asbestos-containing products have gone through a difficult path, ranging from the initial interest and widespread use to severe manufacturing and use restrictions. Asbestos products have unique properties, but their disposal is particularly difficult. The disposal and processing of asbestos is a difficult process. When eliminating asbestos products, care must be taken to ensure that the process does not cause even greater issues for people and the environment than the use of asbestos itself.

Continuous efforts should be made to optimise and accelerate the degradation and disposal of asbestos products, as well as to ensure that Poland obtains and reserves sufficient funds to remove the harmful materials from households and heating systems (i.e. from everyday use) within the deadlines set out in the "Asbestos Removal Programme".

Although numerous asbestos disposal technologies have been developed, they are often small-scale technologies that are either unsuitable for industrial applications or not economically viable. Another disadvantage of the developed technologies is that the materials used for processing and neutralising asbestos (e.g. fluorine and its compounds) are more harmful to the environment than the neutralised mineral itself. On the other hand, however, technologies exist which make it possible to neutralise asbestos and use it as a harmless additive to ceramic, porcelain or construction products. Every effort should be made to ensure that these technologies are widely used, in particular in mass production (e.g. brick or cement production).

Furthermore, lessons should be drawn from the current issues related to asbestos tackled by developing countries. These

Podczas pożaru, w którym palą się elementy budowlane zawierające azbest, wszystkim osobom znajdującym się w odległości do 300 metrów wokół pożaru zaleca się stosowanie środków ochrony indywidualnej. Strażacy jako osoby będące najbliższym zagrożenia [102, 108] bezwzględnie powinni używać aparatów oddechowych w celu uniknięcia wdychania pyłów zawierających azbest. Większość wyposażenia ochronnego używanego przez strażaków eliminuje ekspozycję na włókna, ale w drugorzędnych etapach prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych strażacy mogą zdejmować sprzęt ochronny dla większego komfortu pracy i nie zdawać sobie sprawy z obecności wysokich poziomów włókien azbestu w powietrzu.

Pomocne w takich przypadkach może okazać się monitorowanie uwolnienia się pyłów azbestowych lub produktów rozkładu termicznego, poprzez zastosowanie modelowania numerycznego w postaci dyspersji takich zanieczyszczeń w atmosferze. Jednakże należy przy tym uwzględnić poziom tła [102, 109, 110]. Wykorzystanie możliwości, jakie daje modelowanie numeryczne, może być również przydatne osobom odpowiedzialnym za kierowanie daną akcją ratowniczą [111]. Ponadto dobre praktyki pracy wskazują, że rozpylanie wody na gruzach podczas rozbiórki budynków lub po zawaleniu się budynku jest wskazane w celu utrzymania poziomu pyłów – w tym pyłu azbestu – na dole. Jednakże przy zdarzeniu tak dużym, jak zawalenie się wież WTC, praktyka ta nie była możliwa [112].

Podsumowanie i wnioski

Azbest i wyroby go zawierające przeszły trudną drogę – od dużego zainteresowania i powszechnego stosowania, aż do wprowadzonych ograniczeń w produkcji i użytkowaniu. Wyroby azbestowe posiadają unikalne właściwości, ale również są źródłem problemów przy ich unieszkodliwianiu. Utylizacja i przetwarzanie azbestu to trudny proces. Eliminując wyroby azbestowe, należy uważać, by nie spowodowało to jeszcze większych problemów dla ludzi i środowiska niż samo ich stosowanie.

Należy prowadzić ciągłe prace zmierzające do optymalizacji i przyspieszenia degradacji i unieszkodliwiania wyrobów azbestowych, a także dążyć do zdobycia i zarezerwowania przez nasz kraj odpowiednio wysokich środków pozwalających na usunięcie szkodliwych materiałów z gospodarstw domowych, instalacji ciepłowniczych (czyli z codziennego użytkowania) w założonych w „Programie usuwania azbestu” terminach.

Wprawdzie opracowano liczne technologie unieszkodliwiania wyrobów azbestowych, ale niejednokrotnie są to technologie w małej skali, których nie da się lub nie opłaca się przekształcać w technologie przemysłowe. Inną wadą opracowanych technologii jest to, że materiały używane do przetwarzania i unieszkodliwiania azbestu (np. fluor i jego związki) dla środowiska są bardziej szkodliwe niż sam unieszkodliwiany minerał. Z drugiej jednak strony istnieją również technologie, które pozwalają na unieszkodliwianie azbestu i dodawanie jego nieszkodliwej wersji do wyrobów ceramicznych, porcelanowych czy budowlanych. Należałoby dołożyć wszelkich starań, aby technologie te były powszechnie stosowane w szczególności w produkcjach masowych (np. wyrób cegieł lub cementu).

lessons should be put into practice when introducing new materials into the market, ensuring that the problems related to their processing and disposal are not repeated. With this in mind, it is necessary to take into account not only the very good properties of a given material and the possibility of its wide applications in various products, but also aspects related to the safety of use and disposal, as well as the costs and energy intensity of these processes.

There are many problems to be solved with regard to asbestos disposal techniques. These involve the large quantities of chemical reagents required and the volume of wastewater generated during asbestos processing. However, it should be stressed that measures to speed up asbestos neutralisation are a step in the right direction.

The issues of asbestos and asbestos products still remain one of the most pressing issues of waste management in Poland. In order to achieve the main objective of removing asbestos-containing products from Poland by the end of 2032, it is necessary to accelerate efforts related to removing and neutralising asbestos products. One of the conditions for the actual efficiency improvement in this field is for the municipalities to develop asbestos removal programmes and collect complete information on the quantity and distribution of these materials. The process of removing asbestos products is a complex, lengthy and costly task which involves cooperation between different levels of government administration, local government and public involvement.

The disposal of asbestos-containing products has social, economic and environmental benefits. The advantages of removing those substances include the minimisation of asbestos fibre emissions, along with increasing the health protection of residents as well as improving the aesthetics of buildings and their technical condition.

In addition, it is recommended to conduct social campaigns concerning the harmfulness of asbestos and safe methods of handling it. Such training, supplemented with the tactics of rescue and firefighting operations, should also be mandatory for all firefighters.

Considering the prevalence of asbestos, procedures for dealing with fires involving asbestos and asbestos products should be developed, for example in the form of additional provisions to the fire safety procedures.

Dodatkowo należałoby wyciągnąć wnioski z problemów, które obecnie z azbestem mają kraje rozwijające się i uwzględnić je podczas wprowadzania na rynki nowych materiałów, tak aby historia z problematycznym ich przetwarzaniem i unieszkodliwianiem się nie powtórzyła. W tej kwestii należy brać pod uwagę nie tylko bardzo dobre właściwości danego materiału i możliwość szerokiego stosowania go w różnych wyrobach, ale również aspekty związane z bezpieczeństwem użytkowania i unieszkodliwiania, a także kosztów i energochłonnością tych procesów.

Na rozwiązanie czeka wiele problemów związanych z opracowanymi lub opracowywanymi obecnie metodami unieszkodliwiania azbestu i wyrobów azbestowych. Wśród nich na uwagę zasługuje m.in.: stosowanie dużej ilości odczynników chemicznych, ścieki powstające podczas przetwarzania azbestu. Niemniej podkreślić należy, że działania mające na celu przyspieszenie neutralizacji azbestu idą w dobrą stronę.

Rozwiązanie problemu azbestu i wyrobów azbestowych cały czas stanowi jedną z istotnych kwestii gospodarowania odpadami w Polsce. W celu osiągnięcia głównego założenia – usunięcia do końca 2032 roku wyrobów zawierających azbest z terenu Polski – należy przede wszystkim przyspieszyć prace związane z usuwaniem i unieszkodliwianiem wyrobów azbestowych. Jednym z warunków skutecznego zwiększenia efektywności na tym polu jest opracowanie przez gminy programów usuwania azbestu i zgromadzenie pełnych informacji na temat ilości i rozmieszczenia tych materiałów. Proces usuwania wyrobów azbestowych jest zadaniem złożonym, długotrwałym, kosztownym, a także wymagającym współpracy pomiędzy poszczególnymi szczeblami administracji rządowej, samorządowej oraz zaangażowania społeczeństwa.

Usunięcie z użytkowania wyrobów zawierających azbest niesie korzyści społeczne, ekonomiczne i ekologiczne. Wśród zalet należy przede wszystkim wymienić minimalizację emisji włókien azbestu, a tym samym zwiększenie ochrony zdrowia mieszkańców, a także poprawę estetyki obiektów budowlanych i ich stanu technicznego.

Dodatkowo rekomenduje się prowadzenie kampanii społecznych dotyczących szkodliwości azbestu i bezpiecznych metod postępowania z nim. Tego typu szkolenia, rozszerzone o taktykę prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych, powinni również obowiązkowo przechodzić strażacy.

Ze względu na powszechność występowania azbestu należałoby opracować procedury postępowania związane z wystąpieniem pożarów z udziałem azbestu i wyrobów azbestowych, np. w formie dodatkowych zapisów do procedur postępowania podczas pożarów.

Literature / Literatura

- [1] Baza Azbestowa – Zestawienie statystyczne, [dok. elektr.] <https://www.bazaazbestowa.gov.pl/pl/usuwanie-azbestu/zestawienie-statystyczne>, [dostęp 26.07.2019].
- [2] Ross M., Langer A.M., Nord G.L., *The mineral nature of asbestos*, „Regul Toxicol Pharmacol” 2008, 52, 2008, 26–30.
- [3] Iwaszko J., *Asbestos-cement panels – microstructural investigations of asbestos fibres*, „Prace Naukowe Akademii im Jana Długosza w Częstochowie Technika, Informatyka, Inżynieria Bezpieczeństwa” 2016, 4, 215–224.
- [4] Witek J., Kusiorowski R., *Neutralization of cement-asbestos waste by melting in an arc-resistance furnace*, „Waste Management” 2017, 69, 336–345.

- [5] Kusiorowski R., Zaremba T., Piotrowski J., *The potential use of cement-asbestos waste in the ceramic masses destined for sintered wall clay brick manufacture*, „Ceramics International” 2014, 40, 11995–12002.
- [6] Bandli B.R., Gunter M.E., *A Review of Scientific Literature Examining the Mining History, Geology, Mineralogy, and Amphibole Asbestos Health Effects of the Rainy Creek Igneous Complex, Libby, Montana, USA*, „Inhalation Toxicology” 2006, 18, 949–962, <https://doi.org/10.1080/08958370600834982>.
- [7] Skinner H.C.W., *Mineralogy of Asbestos Minerals*, „Indoor and Built Environment” 2003, 12, 385–389.
- [8] Maciołek Z., Zielińska A., Domarecki T., *Oddziaływanie azbestu na środowisko przyrodnicze i organizm człowieka*, „Journal of Ecology and Health” 2012, R.16, 3, 112–119.
- [9] Iwaszko J., Zawada A., Przerada I., Lubas M., *Structural and microstructural aspects of asbestos-cement waste vitrification*, „Spectrochim Acta A Mol Biomol Spectrosc” 2018, 195, 95–102.
- [10] Pfau J.C., *Immunotoxicity of asbestos*, „Current Opinion in Toxicology” 2018, 10, 1–7.
- [11] Zaremba T., Krząkała A., Piotrowski J., Garczorz D., *Zastosowanie azbestu chryzotylowego jako surowca do produkcji wyrobów ceramicznych o spieczonym czerepie*, „Materiały ceramiczne” 2010, 62, 149–155.
- [12] Oury T.D., Sporn T.A., Roggli V.L., *Erratum to: Pathology of Asbestos-Associated Diseases, Third Edition*, Pathology of Asbestos-Associated Diseases, w: T.D. Oury, T.A. Sporn, V.L. Roggli (red.), Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2016.
- [13] Kuczumow A., Nowak J., *Azbest – właściwości, utylizacja: zintegrowany system zarządzania unieszkodliwianiem azbestu w ujęciu systemowym*, Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa „Dom Organizatora”, Toruń 2013.
- [14] Bujak-Pietrek S., Szadkowska-Stańczyk I., *Narażenie na działanie respirabilnych włókien azbestu podczas różnych etapów prac związanych z usuwaniem materiałów azbestowych*, „Medycyna Pracy” 2012, 63, 191–198.
- [15] Kusiorowski R., Zaremba T., Gerle A., *Study on the thermal decomposition of crocidolite asbestos*, „Journal of Thermal Analysis and Calorimetry” 2015, 120, 1585–1595.
- [16] Brückner B., de Sagastuy J.-R.B., *Azbest*, Wyd. Komitet Starszych Inspektorów Pracy (SLIC), 2006.
- [17] Bojar E., *Zintegrowany system zarządzania unieszkodliwianiem azbestu na składowiskach podziemnych w aspekcie zrównoważonego rozwoju Polski Wschodniej*, Towarzystwo Naukowe Organizacji i Kierownictwa – Stowarzyszenie Wyższej Użyteczności „Dom Organizatora”, Toruń 2014.
- [18] Pyssa J., Rokita G.M., *Azbest – występowanie, wykorzystanie i sposób postępowania z odpadami azbestowymi*, „Gospodarka Surowcami Mineralnymi” 2007, 23, 49–61.
- [19] Świątkowska B., *Prawne aspekty ochrony zdrowia pracowników przed azbestem w Polsce w świetle unijnych ram prawnych*, „Medycyna Pracy” 2013, 64, 689–697, <https://doi.org/10.13075/mp.5893.2013.0057>.
- [20] Gibbons W., *The Exploitation and Environmental Legacy of Amphibole Asbestos: A Late 20th Century Overview*, „Environmental Geochemistry and Health” 1998, 20, 1998, 213–230.
- [21] Jawecki B., *Programowanie usuwania azbestu na szczęblu lokalnym – propozycja wytycznych. Część 1*, „Infrastruktura i ekologia terenów wiejskich” 2008, 9, 73–83.
- [22] Obmiński A., *Odpady azbestowe, składowanie, neutralizacja, zagrożenia*, *Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami, Sympozja i Konferencje*, 2000, 207–217.
- [23] Więcek E., *Azbest – narażenie i skutki zdrowotne*, „Bezpieczeństwo Pracy” 2004, 2, 2–6.
- [24] Wójcik M., *Asbestos in automotive waste. Contemporary recycling methods of waste from automotive industry*, „AUTOBUSY – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe” 2018, 19, 2018, 27–32.
- [25] Szeszenia-Dąbrowska N., *Azbest a zdrowie człowieka, Materiał dydaktyczny na kurs specjalistyczny, Bezpieczne postępowanie z azbestem i materiałami zawierającymi azbest*, AGH, Kraków 2003.
- [26] Zaremba T., Kusiorowski R., *Możliwości wykorzystania eternitu w przemyśle ceramicznym*, „Materiały ceramiczne” 2011, 63, 294–300.
- [27] Iwaszko J., Przerada I., Zawada A., *Microstructural aspects of high-energy milling of asbestos-cement materials*, „Materiały ceramiczne” 2017, 69, 84–89.
- [28] Szałol G., Muszyńska-Graca M., *Usuwanie płyt azbestowo-cementowych a narażenie zawodowe i środowiskowe na azbest*, „Medycyna Środowiskowa - Environmental Medicine” 2017, 20, 21–35.
- [29] Ustawa z dnia 19 czerwca 1997 r. o zakazie stosowania wyrobów zawierających azbest (Dz.U. Nr 101, poz. 628).
- [30] Urbaniak W., *Historia azbestu – od euforii do zakazu*, [dok. elektr.] <https://portalkomunalny.pl/historia-azbestu-od-euforii-zakazu-314159/2/> [dostęp: 3.12.2018].
- [31] Dyrektywa Rady 85/610/EWG z dnia 20 grudnia 1985 r. zmieniająca dyrektywę 76/769/EWG w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych Państw Członkowskich odnoszących się do ograniczeń we wprowadzaniu do obrotu i stosowaniu niektórych substancji i preparatów niebezpiecznych (Dz.Urz. WE L 375 z 31 grudnia 1985).
- [32] Dyrektywa Komisji 91/659/EWG z dnia 3 grudnia 1991 r. dostosowująca do postępu załącznik I do Dyrektywy Rady 76/769/EWG w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych Państw Członkowskich odnoszących się do ograniczeń we wprowadzaniu do obrotu i stosowaniu niektórych substancji i preparatów niebezpiecznych (Dz.Urz. WE L 363 z 31 grudnia 1991).
- [33] Dyrektywa Komisji 1999/77/WE z 26 lipca 1999 r. w sprawie zbliżenia przepisów ustawowych, wykonawczych i administracyjnych państw członkowskich odnoszących się do ograniczeń we wprowadzaniu do obrotu i stosowaniu niektórych substancji i preparatów niebezpiecznych (Dz. Urz. WE L 207 z 6 sierpnia 1999 r., s. 18).
- [34] Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywę Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE (Dz.Urz. WE L 396 z 30 grudnia 2006 oraz sprostowanie w Dz.Urz. WE L 136 z 29 maja 2007 z późn. zm.).
- [35] Dyrektywa Rady 87/217/EWG z dnia 19 marca 1987 r. w sprawie ograniczenia zanieczyszczenia środowiska azbestem i zapobiegania temu zanieczyszczeniu (Dz.Urz. WE L 85 z 28 marca 1987, z późn. zm.).
- [36] Dyrektywa Rady 91/689/EWG z dnia 12 grudnia 1991 r. w sprawie odpadów niebezpiecznych (Dz.Urz. WE L 377 z 21 grudnia 1991 z późn. zm.).
- [37] Dyrektywa Rady 94/31/WE z dnia 27 czerwca 1994 r. zmieniająca dyrektywę 91/689/EWG w sprawie odpadów niebezpiecznych (Dz. Urz. UE L168/28 z dnia 2 lipca 1994).
- [38] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/98/WE z dnia 19 listopada 2008 r. w sprawie odpadów oraz uchylająca niektóre dyrektywy (Dz.Urz. UE L 312 z 22 listopada 2008).
- [39] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206).
- [40] *Chronology of Asbestos Bans and Restrictions*. http://ibasecretariat.org/chron_ban_list.php [dostęp: 22.03.2019].

- [41] Ramos-Bonilla J.P., Cely-García M.F., Giraldo M., *An asbestos contaminated town in the vicinity of an asbestos-cement facility: The case study of Sibaté, Colombia*, „Environmental Research” 2019, 176, 108464.
- [42] Park S-H. *Types and Health Hazards of Fibrous Materials Used as Asbestos Substitutes*, „Safety and Health at Work” 2018, 9, 360–364.
- [43] Graphics Page Charts Row 1, http://ibasecretariat.org/graphics_page_row2.php?n=5#mit1_start [dostęp: 3.12.2018].
- [44] LaDou J., Castleman B., Frank A., *The case for a global ban on asbestos*, „Environ Health Perspect” 2010, 118, 897–901.
- [45] Program Oczyszczania Kraju z Azbestu 2009–2032, uchwała Rady Ministrów Rzeczypospolitej Polskiej nr 122/2009 z dnia 14 lipca 2009 r., zmieniona uchwałą Rady Ministrów nr 39/2010 z dnia 15 marca 2010 r., M.P. 2010 Nr 33 poz. 481.
- [46] Terazono A., Moriguchi Y., Sakai S., Takatsuki H., *Environmental impact assessment of sprayed-on asbestos in buildings*, „J Mater Cycles Waste Manag” 2000, 2, 80–88.
- [47] Yu I.J., Yoo C.Y., Chung Y.H., *Asbestos exposure among Seoul metropolitan subway workers during renovation of subway air-conditioning systems*, „Environment International” 2004, 29, 931–934.
- [48] Subramanian V., Madhavan N., *Asbestos problem in India*, Lung Cancer 49 Suppl 1, 2005, 9–12.
- [49] Anastasiadou K., Gidarakos E., *Toxicity evaluation for the broad area of the asbestos mine of northern Greece*, „J Hazard Mater” 2007, 139, 9–18, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.06.031>.
- [50] Dyczek J., *Szkodliwe oddziaływanie azbestu na zdrowie ludzi, w: Bezpieczne postępowanie z azbestem i materiałami zawierającymi azbest: Szkoła „Azbest – Bezpieczne Postępowanie”, Dyczek J. (red.)*, 20–21 września 2007, AGH Kraków. Akapit, Kraków, 27–44.
- [51] Viani A., Gualtieri A.F., *Recycling the product of thermal transformation of cement-asbestos for the preparation of calcium sulfoaluminat clinker*, J Hazard Mater” 2013, 260, 813–818, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.06.020>.
- [52] Gualtieri A.F., Cavenati C., Zanatto I., *The transformation sequence of cement-asbestos slates up to 1200 degrees C and safe recycling of the reaction product in stoneware tile mixtures*, „J Hazard Mater” 2008, 152, 563–570, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.07.037>.
- [53] Gualtieri A., Tartaglia A., *Thermal decomposition of asbestos and recycling in traditional ceramics*, „Journal of the European Ceramic Society” 2000, 20, 1409–1418.
- [54] Malinowski M., Kidon J., *Usuwanie wyrobów zawierających azbest z obszarów wiejskich*, „Infrastruktura i Ekologia Terenów Wiejskich” 2015, 1, 109–119.
- [55] Kotela I., Bednarenko M., Wilk-Frańczuk M., *The effects of environmental exposure to asbestos dust on health*, „Prz Lek” 2010, 67, 107–109.
- [56] Hagemeyer O., Otten H., Kraus T., *Asbestos consumption, asbestos exposure and asbestos-related occupational diseases in Germany*, „Int Arch Occup Environ Health” 2006, 79, 613–620.
- [57] Kusiorowski R., Zaremba T., Piotrowski J., Podwórny J., *Utilisation of cement-asbestos wastes by thermal treatment and the potential possibility use of obtained product for the clinker bricks manufacture*, „J Mater Sci” 2015, 50, 6757–6767, <https://doi.org/10.1007/s10853-015-9231-6>.
- [58] Wilczyńska U., Szeszenia-Dąbrowska N., *Występowanie pylicy azbestowej w Polsce*, „Medycyna Pracy” 2002, 53, 375–379.
- [59] Peptłńska B., Szeszenia-Dąbrowska N., Szymczak W., *Sytuacja epidemiologiczna w zakresie chorób zawodowych w Polsce w roku 2002*, Medycyna Pracy 2003, 54, 311–318.
- [60] Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U., Szymczak W., Peptłńska B., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2003 r.*, „Medycyna Pracy” 2004, 55, 299–306.
- [61] Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U., Szymczak W., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2004 r.*, „Medycyna Pracy” 2005, 56, 275–284.
- [62] Wilczyńska U., Szeszenia-Dąbrowska N., Szymczak W., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2005 r.*, „Medycyna Pracy” 2006, 57, 225–234.
- [63] Wilczyńska U., Szeszenia-Dąbrowska N., Szymczak W., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2006 r.*, „Medycyna Pracy” 2007, 58, 193–203.
- [64] Wilczyńska U., Szeszenia-Dąbrowska N., Szymczak W., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2007 r.*, „Medycyna Pracy” 2008, 59, 113–122.
- [65] Wilczyńska U., Szeszenia-Dąbrowska N., Szymczak W., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2008 r.*, „Medycyna Pracy” 2009, 60, 167–178.
- [66] Wilczyńska U., Szeszenia-Dąbrowska N., Sobala W., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2009 r.*, „Medycyna Pracy” 2010, 61, 369–379.
- [67] Wilczyńska U., Szeszenia-Dąbrowska N., Sobala W., Drożdż D., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2010 r.*, „Medycyna Pracy” 2011, 62, 347–357.
- [68] Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U., Sobala W., *Choroby zawodowe w Polsce w 2011 roku*, Oficyna Wydawnicza MA, Łódź 2012.
- [69] Wilczyńska U., Sobala W., Szeszenia-Dąbrowska N., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2012 r.*, „Medycyna Pracy” 2013, 64, 217–326.
- [70] Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U., Sobala W., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2013 r.*, „Medycyna Pracy” 2014, 65, 463–472.
- [71] Szeszenia-Dąbrowska N., Wilczyńska U., *Choroby zawodowe stwierdzone w Polsce w 2014 r.*, „Medycyna Pracy” 2016, 67, 327–335.
- [72] Świątkowska B., Hanke W., *Choroby zawodowe w Polsce w 2016 roku*, „Medycyna Pracy” 2018, 69, 643–650.
- [73] Rezolucja Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 19 czerwca 1997 r. w sprawie programu wycofywania azbestu z gospodarki M.P.97.38.373, <https://doi.org/10.1021/ie9702744>.
- [74] Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 13 grudnia 2010 r. w sprawie wymagań w zakresie wykorzystywania wyrobów zawierających azbest oraz wykorzystywania i oczyszczania instalacji lub urządzeń, w których były lub są wykorzystywane wyroby zawierające azbest (Dz.U. 2011 Nr 8 poz. 31).
- [75] Sugama T., Sabatini R., Petrakis L., *Decomposition of Chrysotile Asbestos by Fluorosulfonic Acid*, „Ind Eng Chem Res” 1998, 37, 79–88.
- [76] Yanagisawa K., Kozawa T., Onda A., Kanazawa M., *A novel decomposition technique of friable asbestos by CHClF₂-decomposed acidic gas*, „Journal of Hazardous Materials” 2009, 163, 593–599.
- [77] Rozalen M., Huertas F.J., *Comparative effect of chrysotile leaching in nitric, sulfuric and oxalic acids at room temperature*, „Chemical Geology” 2013, 352, 134–142, <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2013.06.004>.
- [78] Domka L., Domka L., Kozak M., *Utilisation of asbestos wastes*, „Fizyko-chemiczne Problemy Mineralurgii” 2001, 35, 83–90.
- [79] Martino E., Prandi L., Fenoglio I., *Soil fungal hyphae bind and attack asbestos fibers*, „Angew Chem Int Ed Engl” 2003, 42, m, 2003, 219–222.
- [80] Plescia P., Gizzi D., Benedetti S., *Mechanochemical treatment to recycling asbestos-containing waste*, „Waste Manag” 2003, 23, 209–218, [https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(02\)00156-3](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(02)00156-3).
- [81] Colangelo F., Cioffi R., Lavorgna M., *Treatment and recycling of asbestos-cement containing waste*, „J Hazard Mater” 2011, 195, 391–397, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.057>.
- [82] Zaremba T., Krząkała A., Piotrowski J., Garczorz D., *Study on the thermal decomposition of chrysotile asbestos*, „Journal of Thermal Analysis and Calorimetry” 2010, 101, 479–485.
- [83] Kusiorowski R., Zaremba T., Piotrowski J., Adamek J., *Thermal decomposition of different types of asbestos*, „Journal of Thermal Analysis and Calorimetry” 2012, 109, 693–704.
- [84] Iwaszko J., *Making asbestos-cement products safe using heat treatment*, Case Studies in Construction Materials 10, 2019, e00221.

- [85] Kusiorowski R., Zaremba T., Piotrowski J., Gerle A, *Thermal decomposition of asbestos-containing materials*, „J Therm Anal Calorim” 2013, 113, 179–188, <https://doi.org/10.1007/s10973-012-2222-9>.
- [86] Leonelli C., Veronesi P., Boccaccini D.N., *Microwave thermal inertisation of asbestos containing waste and its recycling in traditional ceramics*, „J Hazard Mater” 2006, 135, 149–155, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.035>.
- [87] Corradi A., Siligardi C., Veronesi P., *Microwave irradiation of asbestos containing materials*, „Material Research Innovations” 2004, 8, 65–67.
- [88] Favero-Longo S.E., Turci F., Tomatis M., *Chrysotile asbestos is progressively converted into a non-fibrous amorphous material by the chelating action of lichen metabolites*, „J Environ Monit” 2005, 7, 764–766, <https://doi.org/10.1039/b507569f>.
- [89] Spasiano D., Pirozzi F., *Treatments of asbestos containing wastes*, „Journal of Environmental Management” 2017, 204, 82–91, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.038>.
- [90] Dyczek J., *Eksplotacja i usuwanie wyrobów zawierających azbest*, „Materiały Budowlane” 2006, 11, 46–48.
- [91] Dyczek J., *Transport i składowanie odpadów niebezpiecznych zawierających azbest*, w: *Bezpieczne postępowanie z azbestem i materiałami zawierającymi azbest*, Dyczek J. (red.) Akapit, Kraków 2007, 7–27.
- [92] Koumantakis E., Kalliopi A., Dimitrios K., Gidarakos E., *Asbestos pollution in an inactive mine: determination of asbestos fibers in the deposit tailings and water*, „J Hazard Mater” 2009, 167, 1080–1088.
- [93] Pawluk K., *Nowe metody unieszkodliwiania odpadów budowlanych zawierających azbest*, *Prace Naukowo-Przeglądowe Przegląd Naukowy Inżynieria i Kształtowanie Środowiska*, 49, 2010, 38–47, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.01.102>.
- [94] Linert S., *Utylizacja azbestu w technologii MTT – w aspekcie badań i analiz laboratoryjnych*, Włocławek, 2008, [dok. elektr.] <http://www.eko-proj-edu.pl/pliki/Inzynieria/Utylizacja%20azbestu%20w%20technologii%20MTT%20%E2%80%93%20w%20oparciu%20o%20przeprowadzone%20badania.pdf> [dostęp: 15.05.2019]
- [95] Yoshikawa N., Kashimura K., Hashiguchi M., *Detoxification mechanism of asbestos materials by microwave treatment*, „Journal of Hazardous Materials” 2015, 284, 201–206, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.09.030>.
- [96] Boccaccini D.N., Leonelli C., Rivasi M.R., *Recycling of microwave inertised asbestos containing waste in refractory materials*, „Journal of the European Ceramic Society” 2007, 27, 1855–1858, <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2006.05.003>.
- [97] *Asbestos and fire damaged buildings*, [dok. elektr.] <http://www.deir.qld.gov.au/asbestos/resources/pdfs/asbestos-fire-damaged-buildings.pdf> [dostęp: 15.05.2019].
- [98] Kullberg C., Andersson T., Gustavsson P., *Cancer incidence in firefighters in Sweden – preliminary findings from an updated cohort study*, w: *Oral Presentation*. BMJ Publishing Group Ltd, 2017, A99.2-A100.
- [99] Landrigan P.J., Lioy P.J., Thurston G., *Health and environmental consequences of the world trade center disaster*, *Environ Health Perspect* 112, 2004, 731–739, <https://doi.org/10.1289/ehp.6702>.
- [100] Rom W.N., Weiden M., Garcia R., *Acute Eosinophilic Pneumonia in a New York City Firefighter Exposed to World Trade Center Dust*, „Am J Respir Crit Care Med” 2002, 166, 797–800, <https://doi.org/10.1164/rccm.200206-576OC>.
- [101] Landrigan P.J., *Health consequences of the 11 September 2001 attacks*, „Environmental Health Perspectives” 2001, 109, 514–515, <https://doi.org/10.1289/ehp.109-a514>.
- [102] Saunders P., Smith K.R., *The public health significance of asbestos exposures from large scale fires*, Chemical Hazards and Poisons Division, Health Protection Agency, Didcot 2007.
- [103] Nolan R.P., Ross M., Nord G.L., *Risk assessment for asbestos-related cancer from the 9/11 attack on the World Trade Center*, „J Occup Environ Med” 2005, 47, 2005, 817–825, <https://doi.org/10.1097/01.jom.0000167273.17109.6d>.
- [104] Luz C., *Firefighter Findings: Biomonitoring Rescue Workers after WTC Attacks*, „Environmental Health Perspectives” 2003, 111, 896, <https://doi.org/10.1289/ehp.111-a896a>.
- [105] Lewis N.J., Curtis M.F., *Occupational health and hygiene following a fire in a warehouse with an asbestos cement roof*, „J Soc Occup Med” 1990, 40, 53–54.
- [106] Bridgman S., *Community health risk assessment after a fire with asbestos containing fallout*, „Journal of Epidemiology & Community Health” 2001, 55, 921–927, <https://doi.org/10.1136/jech.55.12.921>.
- [107] Asbestos, 9/11 and the World Trade Center. <https://www.asbestos.com/world-trade-center/> [dostęp: 8.05.2019].
- [108] Bridgman S.A., *Acute health effects of a fire associated with asbestos-containing fallout*, J „Public Health Med” 2000, 22, 400–405, <https://doi.org/10.1093/pubmed/22.3.400>.
- [109] Royal Commission on Matters of Health and Safety Arising from the Use of Asbestos in Ontario, Dupré J.S., Report of the Royal Commission on Matters of Health and Safety Arising from the Use of Asbestos in Ontario, Ontario Ministry of the Attorney General, Toronto 1984.
- [110] Bignon J., *Mineral fibres in the non-occupational environment*, „IARC Sci Publ” 1989, 3–29.
- [111] Porowski R., *Awaryjne uwolnienia substancji palnych do środowiska*, Wyd. SGSP, 2017.
- [112] Beckett W.S., *A New York City Firefighter: Overwhelmed by World Trade Center Dust*, „Am J Respir Crit Care Med” 2002, 166, 785–786, <https://doi.org/10.1164/rccm.2208001>.

DOROTA SZULCZYŃSKA, PH.D. – a graduate of the Faculty of Materials Science at the Warsaw University of Technology, where in 2012 she defended her Ph.D. dissertation entitled *Characterisation of the structure of ceramic archaeological objects*. At CNBOP-PIB she deals with broadly understood security issues. Her main research interests concern flood protection, logistics of rescue and firefighting operations, thermal properties and flame resistance of polymeric materials and composites as well as recycling. She is an author of over 30 publications of national and international scale, as well as presentations at numerous conferences and symposia.

DR INŻ. DOROTA SZULCZYŃSKA – absolwentka Wydziału Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej, gdzie w 2012 r. obroniła rozprawę doktorską pt.: *Charakterystyka struktury ceramicznych obiektów archeologicznych*. W CNBOP-PIB zajmuje się szeroko rozumianą tematyką bezpieczeństwa. Wśród głównych tematów znajdują się: ochrona przeciwpowodziowa, logistyka prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczych, właściwości termiczne i odporność na działanie płomienia materiałów polimerowych oraz kompozytów polimerowych oraz recykling materiałów. Wyniki badań zostały opublikowane w ponad 30 publikacjach o zasięgu krajowym i międzynarodowym, a także były prezentowane na licznych konferencjach i sympozjach.

Karol Pachnik, Ph.D.^{a)*}

^{a)} *Siedlce University of Natural Sciences and Humanities, Faculty of Economic and Legal Sciences / Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, Wydział Nauk Ekonomicznych i Prawnych*

^{*} *Corresponding author / Autor korespondencyjny: karolpachnik@uph.edu.pl*

Firefighting Expert Witnesses and Their Role in the Safety System

Biegli z zakresu pożarnictwa i ich rola w systemie bezpieczeństwa

ABSTRACT

Objective: The aim of the article is to present and characterise the professionals who – thanks to their specialised knowledge – are part of the safety system.

Introduction: Fire prevention and identifying the causes of fires are key issues in the internal safety system. The authorities are not capable of executing their powers without support from professionals who have the necessary qualifications. In the Polish legal system, there are a number of professionals who have specialised knowledge (expertise), which is the reason for engaging them in the process of making judgments and decisions by judicial and administrative authorities. Such tasks are mostly associated with the profession of a (court) expert witness. With regard to firefighting, there are also fire-safety expert witnesses. There are no complex legal regulations concerning such experts. The level of competence needed for obtaining the status of an expert witness or other firefighting expert is regulated in several different legal acts. Only a comprehensive study of such acts could help explain the role of professionals with specialised knowledge within the safety system.

Methodology: This study is based on a theoretical analysis of the legal system and a comparison of the solutions adopted in specific acts with their interpretations in court decisions and relevant literature.

Conclusions: It has been found that, when exercising public powers concerning fire prevention, there is a legal requirement to use the assistance provided by other professionals with specialised knowledge and firefighting expert status. In addition, during administrative or court proceedings and investigations there is a legal obligation to only use (court) expert witness assistance. Those professionals need to meet specific criteria to be able to perform their functions. The primary requirement is that they have the necessary qualifications (knowledge and experience) to issue expert opinions. The support of expert witnesses is also desirable in the winding-up proceedings of insurance companies concerning the payment of compensation for damages resulting from fire. However, even the most renowned expert witnesses cannot make final decisions for the authority that seeks their assistance, and their opinions are never binding.

Keywords: expert witness, safety, fire, emergency

Type of article: review article

Received: 30.01.2019; Reviewed: 15.02.2019; Accepted: 28.06.2019;

Author's ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-2311-8522>

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 162–172, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.10>;

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

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie i scharakteryzowanie podmiotów, które – będąc w posiadaniu wiadomości specjalnych – stanowią element systemu bezpieczeństwa.

Wprowadzenie: Prewencja oraz ustalanie przyczyn pożarów to istotne zagadnienia dla bezpieczeństwa wewnętrznego. Aby organy państwa mogły sprawnie realizować swoje kompetencje w tym zakresie, potrzebują wsparcia w zakresie wiedzy specjalistycznej. W polskim systemie prawnym występuje grupa podmiotów, które posiadają wiadomości specjalne, użyteczne w postępowaniach prowadzonych przez organy administracji, organy ścigania czy sądy. Są nimi najczęściej biegli sądowi. W kręgu problematyki pożarnictwa pojawić się mogą jeszcze rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych. Nie ma jednej kompleksowej regulacji prawnej dotyczącej takich podmiotów. O tym, jakie kompetencje wiążą się z nabyciem roli biegłego czy rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych, decydują regulacje zawarte w wielu różnych ustawach. Dopiero ich kompleksowe zbadanie może dać odpowiedź na pytanie, jaką rolę w systemie bezpieczeństwa odgrywają podmioty będące w posiadaniu wiadomości specjalnych.

Metodologia: Badania przeprowadzono poprzez analizę obowiązującego stanu prawnego oraz porównanie rozwiązań zawartych w poszczególnych ustawach z ich interpretacją w orzecznictwie sądowym i piśmiennictwie.

Wnioski: Dostrzeżono prawny obowiązek korzystania przez organy państwa z wiadomości specjalnych, którymi dysponują grupy podmiotów funkcjonujących w obszarze bezpieczeństwa pożarowego (takich jak biegli sądowi z zakresu pożarnictwa czy rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych). Podmioty te muszą spełniać określone kryteria, które pozwalają im na wykonywanie swoich funkcji. Podstawowym kryterium jest posiadanie

wysokich kwalifikacji (wiedzy i doświadczenia) pozwalających na wydanie opinii. Pomoc biegłych jest pożądana także w postępowaniach prowadzonych przez ubezpieczycieli, głównie w zakresie ustalenia odpowiedzialności TU w związku z zaistniałą szkodą pożarową. Odpowiedzialność ta może być ograniczona lub – w skrajnych przypadkach nieprzestrzegania przez ubezpieczonego obowiązujących przepisów dotyczących bezpieczeństwa pożarowego lub innych wskazań wynikających np. z zawartej umowy ubezpieczenia – TU może być z niej nawet zwolnione.

Słowa kluczowe: biegli, bezpieczeństwo, pożary, zagrożenie

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 30.01.2019; **Zrecenzowany:** 15.02.2019; **Zatwierdzony:** 28.06.2019;

Identyfikator ORCID autora: <https://orcid.org/0000-0003-2311-8522>

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 162–172, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.10>;

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

Introduction

According to S. Wieteska, “the issue of fires has been of interest to economic, social and technical scientists for many years, and fire rescue has occupied a major position within the public safety organisational structures” [1]. The assurance of safety begins with preventive measures [2, p. 98]. M. Wolanin has stressed that “in order to ensure the safety of a given facility or system, it is necessary to counteract threats. When analysing safety problems (in any facility), two fundamental aspects should be taken into account, i.e. threat and safety” [3, p. 981].

A review of various scientific publications and reports shows a number of irregularities which reflect a rather poor culture of fire safety among building owners and administrators in Poland. As argued by P. Janik, “while there is some understanding of the difficulties, mainly financial, related to eliminating certain technical conditions posing threat to people in the buildings erected many years ago, and not conforming to the currently acceptable safety standards, there is no justification for negligence in ensuring that escape routes are unobstructed at all times, cladding them with flammable materials, failing to perform regular inspections of the systems and equipment in use, including fire protection systems, or the lack of developed and implemented fire protection guidelines regarding, inter alia, evacuation. What also appears striking is that comparable levels of fire safety negligence are found regardless of the degree of risk in various facilities. It appears that the implementation of more rigorous fire safety procedures is not even fostered by the use of technological systems within the facility, often containing materials which might create a fire hazard” [4, p. 57].

Threats can be eliminated, and the desirable level of safety achieved, by developing an adequate approach to fire prevention, building on the mechanisms established on the basis of the applicable law.

D. Witczak has stressed that the pace of civilisation change and the necessity of ensuring fire safety both create the need to continually adjust legal regulations to the new conditions of daily life [5, p. 129]. In the area of firefighting, the Act of 21 August

Wprowadzenie

Zdaniem S. Wieteski „problematyka pożarów jest od bardzo wielu lat przedmiotem zainteresowania nauk ekonomicznych, społecznych i technicznych, a ratownictwo pożarowe zajmuje ważne miejsce w strukturach organizacyjnych bezpieczeństwa publicznego” [1]. Zapewnienie bezpieczeństwa rozpoczyna się od działań prewencyjnych [2, s. 98]. M. Wolanin podkreśla, że „aby zapewnić bezpieczeństwo dowolnego obiektu lub innego systemu, należy przeciwdziałać zagrożeniom. Analizując problemy bezpieczeństwa (dowolnego obiektu), powinno się mieć na uwadze dwa fundamentalne pojęcia – zagrożenie i bezpieczeństwo” [3, s. 981].

Analizując treści raportach i publikacjach naukowych, dostrzega się szereg nieprawidłowości, świadczących o dość niskiej kulturze bezpieczeństwa pożarowego właścicieli i zarządców obiektów w Polsce. P. Janik wskazuje, że „o ile można zrozumieć trudności, głównie finansowe, związane z usunięciem technicznych warunków zagrożenia życia ludzi w budynkach wybudowanych wiele lat temu, niezgodnie z akceptowalnymi obecnie standardami bezpieczeństwa, o tyle niedbałość o zapewnienie drożności dróg ewakuacyjnych, składowanie na nich materiałów palnych, niezapewnianie przeglądów okresowych instalacji i urządzeń użytkowych oraz przeciwpożarowych czy wreszcie brak opracowania i wdrożenia instrukcji przeciwpożarowych, np. w zakresie ewakuacji, nie znajdują już żadnego usprawiedliwienia. Charakterystyczne jest również to, że porównywalny stopień zaniedbań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego jest stwierdzany niezależnie od skali zagrożenia występującego w danym obiekcie. Stawia się tezę, że do wdrożenia bardziej rygorystycznych procedur bezpieczeństwa pożarowego nie skłania nawet fakt użytkowania w obiekcie instalacji technologicznych, często z materiałami niebezpiecznymi pożarowo” [4, s. 57].

Eliminacja zagrożenia, a tym samym osiągnięcie pożądanego poziomu bezpieczeństwa, osiągana jest przez tworzenie modelu postępowania w ramach prewencji przeciwpożarowej. Model zaś powstaje w oparciu o mechanizmy tworzone na podstawie obowiązującego prawa.

1991 on Fire Protection (consolidated text, Journal of Laws of 2018, item 620) constitutes the principal legal act.

Based on the definition arising from that Act, fire protection means taking measures aimed at protecting life, health, property and the environment against fires, natural disasters or other local hazards, by:

- 1) preventing the occurrence and spread of a fire, natural disaster or any other local hazard;
- 2) providing the necessary manpower and means of combating a fire, natural disaster or any other local hazard;
- 3) conducting rescue operations.

The occurrence and spread of a fire can be prevented, inter alia, by providing the necessary conditions for technical protection of real and personal property.

Within the national legal system there is a number of entities, which, thanks to their specialised knowledge, are expected to make informed judgements on specific topics. Although experts' judgements are not always considered opinions [6, p. 4], they often exert a tangible impact on conducted proceedings.

Fire-safety expert witnesses

As regards the issue of fire protection, a major role in preventing the occurrence of fires is played by fire-safety expert witnesses (see Article 2 (1) of the Act of 21 August 1991 on Fire Protection).

Under the binding regulations, a fire-safety expert witnesses is a person holding the necessary qualifications to work in the profession of a "firefighting engineer," or having the scientific degree of "Engineer" or "Master of Science in Engineering," who has undergone professional training and passed the necessary examination. The examination confirming successful completion of professional training covers the knowledge of the applicable legal regulations and technical knowledge of fire protection, as well as the ability to meet the relevant requirements and select the adequate fire safety measures.

Fire-safety expert witnesses are allowed to review construction designs for buildings and fire protection equipment designs, to issue expert opinions on technical issues and other technical studies regarding fire protection, and to provide fire protection services which include preventing the occurrence and spread of fires.

There are also several requirements which fire-safety expert witnesses must satisfy, including the obligation to independently improve their professional qualifications. They are, in particular, expected to:

- 1) prepare and present reports at scientific or technical congresses, meetings, conferences or symposia;
- 2) author or co-author books, articles or translations;

D. Witczak akcentuje, że tempo zmian cywilizacyjnych, a także konieczność zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego wymusza niejako potrzebę ciągłego dostosowywania przepisów prawnych do realiów życia codziennego [5, s. 129]. W zakresie związanym z pożarnictwem podstawowym aktem prawnym jest ustawa z dnia 21 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (t.j. Dz.U. z 2018 r. poz. 620).

Zgodnie z przyjętą definicją wynikająca, ze wskazanej ustawy ochrona przeciwpożarowa polega na realizacji przedsięwzięć mających na celu ochronę życia, zdrowia, mienia lub środowiska przed pożarem, klęską żywiołową lub innym miejscowym zagrożeniem poprzez:

- 1) zapobieganie powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożaru, klęski żywiołowej lub innego miejscowego zagrożenia;
- 2) zapewnienie sił i środków do zwalczania pożaru, klęski żywiołowej lub innego miejscowego zagrożenia;
- 3) prowadzenie działań ratowniczych.

Zapobieganie powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożaru to m.in. zapewnienie koniecznych warunków ochrony technicznej nieruchomościom i ruchomościom.

W krajowym systemie prawnym istnieje szereg podmiotów, które dzięki posiadaniu wiadomości specjalnych, mają w zamierzeniu kompetentnie wypowiadać się o określonych dziedzinach. Chociaż nie zawsze wypowiedź ekspercka nosi nazwę opinii [6, s. 4], często podmioty te w sposób faktyczny wpływają na kierunek toczącego się postępowania.

Rzecznicy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych

W odniesieniu do zagadnień ochrony przeciwpożarowej istotną rolę w zapobieganiu powstawaniu pożarów odgrywają rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych – por. art. 2 pkt 1 ustawy z dnia 21 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej.

Zgodnie z obowiązującymi przepisami rzeczownikiem do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych może być osoba, która posiada kwalifikacje wymagane do wykonywania zawodu „inżynier pożarnictwa” lub posiada tytuł zawodowy „inżynier” lub „magister inżynier” oraz przygotowanie zawodowe potwierdzone egzaminem złożonym z wynikiem pozytywnym. Egzamin potwierdzający przygotowanie zawodowe obejmuje znajomość przepisów prawa i zasad wiedzy technicznej dotyczących ochrony przeciwpożarowej, a także umiejętność stosowania zawartych w nich wymagań i doboru zabezpieczeń przeciwpożarowych odpowiednio do tych wymagań.

Rzecznik do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych jest uprawniony do uzgadniania projektów budowlanych obiektów budowlanych i projektów urządzeń przeciwpożarowych, sporządzania ekspertyz technicznych i innych opracowań technicznych z zakresu ochrony przeciwpożarowej oraz wykonywania czynności z zakresu ochrony przeciwpożarowej, w tym polegających na zapobieganiu powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożaru.

Rzecznikom do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych stawianych jest też szereg wymagań, między innymi obowiązek

- 3) participate in scientific or technical congresses, meetings, conferences or symposia;
- 4) participate in workshops and other forms of training;
- 5) participate in online education programmes focusing on the knowledge and skills related to fire protection.

The activities of fire-safety expert witnesses are supervised by the Chief Commanding Officer of the State Fire Service, through Regional Commanding Officers of the State Fire Service. The supervision covers such activities as

- 1) reviewing construction designs and fire protection equipment designs;
- 2) issuing expert opinions on technical issues or judgments referred to in fire protection regulations;
- 3) satisfying such requirements as:
 - notifying the Regional Commanding Officer of the State Fire Service, appropriate for the investment location, of reviewing a construction design for a building, within 14 days of such a review;
 - notifying the Chief Commanding Officer and the Regional Commanding Officers of the State Fire Service, appropriate for the new and previous places of residence, of changing the place of residence, within 30 days of such a change,
 - keeping records of the reviewed construction designs for buildings, for a period of 5 years, along with copies of notifications regarding such reviews and evidence that they have been sent.

As they exercise their supervisory powers, the Chief Commanding Officer of the State Fire Service and Regional Commanding Officers of the State Fire Service are allowed to conduct preliminary investigations.

Considering the above, these entities can be assumed to use their expertise in performing fire safety services in the field of fire prevention.

samodzielnego podnoszenia kwalifikacji zawodowych. Obejmuje on przede wszystkim takie aktywności jak:

- 1) przygotowanie i wygłoszenie referatu na kongresie, zjeździe, konferencji lub sympozjum naukowym lub technicznym;
- 2) opublikowanie jako autor lub współautor książki, artykułu lub tłumaczenia;
- 3) udział w kongresach, zjazdach, konferencjach lub sympozjach naukowych lub technicznych;
- 4) udział w warsztatach szkoleniowych i innych formach szkoleń;
- 5) udział w internetowych programach edukacyjnych – w zakresie wiedzy i umiejętności dotyczących ochrony przeciwpożarowej.

Nadzór nad działalnością rzeczoznawców sprawuje Komendant Główny Państwowej Straży Pożarnej przy pomocy komendantów wojewódzkich Państwowej Straży Pożarnej. Jest on sprawowany w zakresie:

- 1) uzgadniania przez rzeczoznawców projektów budowlanych oraz projektów urządzeń przeciwpożarowych;
- 2) wykonywania ekspertyz technicznych lub opinii, o których mowa w przepisach dotyczących ochrony przeciwpożarowej;
- 3) wywiązywania się z obowiązków:
 - przesyłania zawiadomienia o uzgodnieniu projektu budowlanego obiektu budowlanego komendantowi wojewódzkiemu Państwowej Straży Pożarnej właściwemu dla miejsca lokalizacji inwestycji w terminie 14 dni od dnia uzgodnienia dokumentu;
 - zawiadamiania KG PSP i komendantów wojewódzkich PSP właściwych ze względu na nowe i poprzednie miejsce zamieszkania w terminie 30 dni od dnia zmiany miejsca zamieszkania,
 - prowadzenia i przechowywania przez okres 5 lat ewidencji uzgodnionych projektów budowlanych obiektów budowlanych oraz kopii zawiadomień o uzgodnieniu tych projektów, wraz z dowodami ich wysłania.

W ramach sprawowania nadzoru Komendant Główny Państwowej Straży Pożarnej lub komendant wojewódzki Państwowej Straży Pożarnej mogą przeprowadzać postępowanie wyjaśniające.

Wobec powyższego należy przyjąć, że opisywane podmioty wykorzystują wiedzę specjalistyczną, świadcząc usługi na rzecz bezpieczeństwa pożarowego w zakresie prewencji pożarowej.

Fire-safety expert witnesses and their role

As noted by P. Guzewski, modern procedures for identifying the causes of fires are based on a systematized approach grounded in scientific analysis [9, p. 907]. At this stage, it is necessary to use the assistance of people having specialised knowledge. If they are commissioned to identify the causes of fires as part of court or other proceedings, they assume the role of expert witnesses. In Poland, there is no single legal act that would comprehensively deal with the issues related to such expert witnesses, and these are only partly governed in some procedural acts. Despite using similar nomenclatures (expert

Biegli i ich rola

P. Guzewski zauważył, że podstawą współczesnego procesu ustalania przyczyny pożaru jest usystematyzowane podejście oparte na analizie naukowej [9, s. 907]. Na tym etapie konieczne jest korzystanie z wiedzy osób mających wiadomości specjalne. Jeżeli takie osoby powoływane są do ustalania przyczyn pożarów w procesach sądowych albo innych postępowaniach urzędowych, występują one jako biegli. W Polsce nie ma jednego aktu prawnego regulującego kompleksowo problematykę biegłych. Istnieją jedynie regulacje szcztatkowe w ustawach procesowych. Mimo operowania podobnym nazewnictwem (biegli, biegli sądo-

witnesses, court experts), various regulations significantly differ from one another. Nevertheless, this is not of fundamental significance to this article.

Generally speaking, expert witnesses (see more [10]) are people having specialised knowledge (i.e. expertise in a given field), extending beyond general knowledge. They can be entered on the list kept by the chairperson of the local court, in which case they are referred to as court experts. However, not being entered on such a list does not disqualify a person from acting as an expert witness, as the list only serves informative purposes and facilitates finding specialists in a given field. Entry on the list is a pure formality. The candidate must prove that he/she holds the necessary qualifications by confirming their education, professional experience, or membership of scientific or professional associations. Their knowledge, however, is not formally verified.

In any case – and in particular when there are no expert witnesses in a given field, or they refuse to issue an expert opinion, or obtaining their opinion would take too much time – the court or public prosecutor can request such an opinion from a person who has specialised knowledge but has not been entered on the list of court experts. In legal doctrine, such a person is referred to as an *ad hoc* expert.

As regards administrative proceedings, court experts do not appear at all. Administration authorities do not keep any list of expert witnesses but always appoint the so-called *ad hoc* experts. An example of such proceedings is a situation in which the State Fire Service authorities issue a decision invalidating a reviewed construction design in the course of the investment process, i.e. from the moment of obtaining a decision on granting the construction permit to the investment completion and issuing the occupancy permit [11].

The assistance of an expert witness is also recommended whenever determining the facts in a given case requires specialised knowledge – even when the authority itself has such knowledge. This requirement is connected with the need to gather objective evidence, as any determinations made arbitrarily by the competent authorities or courts, based on their own expertise, could meet with justified criticism as regards the integrity of the proceedings.

Expert witnesses' specialised knowledge is used in the circumstances where fire prevention has failed. The accurate determinations made by expert witnesses make it possible to verify the fire safety standards from a broad perspective.

When identifying the cases of fires, expert witnesses are usually engaged in connection with criminal proceedings. They are also appointed in civil cases, *inter alia*, when the payment of damages is at play. In such cases, they determine whether specific requirements have been met, taking into account the fact that the insured party, under the general terms and conditions of insurance, is required to comply with the generally binding regulations (including construction law, as well as provisions regarding fire protection, operation and maintenance of buildings and structures, construction and operation of technical equipment, technical supervision of equipment, and specific obligations stipulated in the insurance agreement (see [12]).

wi) poszczególne regulacje znacząco różnią się od siebie. Nie ma to jednak pierwszorzędного znaczenia dla niniejszego artykułu.

Uogólniając, można stwierdzić (szerzej por. [10]), że biegłym jest osoba posiadająca wiadomości specjalne (czyli szczególną specjalistyczną wiedzę z danej dziedziny) wykraczającą poza wiedzę ogólną. Biegły może być wpisany na listę prowadzoną przez prezesa właściwego terytorialnie sądu okręgowego. Wówczas nazywa się go biegłym sądowym. Brak wpisu na listę nie pozbawia prawa do występowania w charakterze biegłego. Wspomniana lista pełni funkcję informacyjną, pozwalającą na szybkie odnalezienie specjalistów z danej dziedziny. Wpis na listę jest czynnością czysto formalną. Kandydat musi wylegitymować się posiadaniem odpowiednich kwalifikacji, co czyni poprzez wskazanie swojego wykształcenia, doświadczenia zawodowego czy przynależności do towarzystw naukowych bądź zawodowych. Jego wiedza nie jest weryfikowana.

Zawsze – a szczególnie w przypadkach braku biegłych o danej specjalności, uzasadnionej odmowy sporządzenia przez biegłego opinii czy w sytuacji nadmiernie długiego terminu oczekiwania – sąd czy prokurator może powołać do wydania opinii osobę, która posiada wiadomości specjalne, a nie figuruje na liście biegłych sądowych. Taką osobę w doktrynie nazywa się biegłym *ad hoc*.

Natomiast w postępowaniach przed organami administracji nie występują w ogóle biegli sądowi. Organy administracji nie tworzą listy biegłych. Zawsze powołują tzw. biegłych *ad hoc*. Przykładem takiego postępowania przed organami administracji jest sytuacja, w której organy Państwowej Straży Pożarnej mogą wydać postanowienie unieważniające uzgodnienie projektu budowlanego w czasie trwania całego procesu inwestycyjnego, a więc od momentu uzyskania decyzji o pozwoleniu na budowę do czasu zakończenia inwestycji i uzyskania pozwolenia na użytkowanie [11].

Skorzystanie z pomocy biegłego jest wskazane zawsze, kiedy w sprawie konieczne są ustalenia z wykorzystaniem wiadomości specjalnych – nawet wtedy, gdy organ takie wiadomości także posiada. Wymóg ten jest związany z koniecznością zebrania obiektywnego materiału dowodowego. Dokonanie arbitralnych ustaleń przez właściwe organy czy sądy w oparciu na podstawie wiedzy własnej mogłoby się spotkać z uzasadnioną krytyką co do rzetelności postępowania.

Wiedza specjalistyczna biegłych wykorzystywana jest w sytuacjach, kiedy zawiodła prewencja pożarowa. To prawidłowe ustalenia biegłych pozwalają na weryfikację standardów bezpieczeństwa pożarowego w szerokiej perspektywie.

Na etapie ustalania przyczyn pożarów biegli najczęściej występują w związku prowadzonym postępowaniem karnym. Są powoływani także w procesach cywilnych np. związanych z odszkodowaniami. Wtedy mając na względzie, że zgodnie z ogólnymi warunkami ubezpieczenia ubezpieczony zobowiązany jest do przestrzegania powszechnie obowiązujących przepisów [w tym przepisów prawa budowlanego, ochrony przeciwpożarowej, eksploatacji i konserwacji budynków i budowli, budowy i eksploatacji urządzeń technicznych, wykonywania dozoru technicznego nad urządzeniami oraz wykonywania zobowiązań wymienionych w umowie ubezpieczenia (por. [12]), opiniują, czy wymienione wymogi zostały spełnione.

Legal doctrine contains the following statement: “Fires are events in which evidence is extremely difficult to gather. To determine the place and the causes of fire occurrence and spread, it is necessary to engage a specialist – a firefighting (fire protection) expert” [13]. It is worth noting that this statement is a simplification towards an informal language. In the penal process, there is a marked distinction between specialists (i.e. persons usually having technical knowledge, employed with or serving law enforcement agencies, and performing technical operations which include in particular performing measurements or calculations, taking photos and recording evidence) and expert witnesses (i.e. persons having specialised knowledge and appointed for the purpose of issuing informed opinions). The postulate to formally institute the position of a consultant – a person providing the necessary assistance to the judicial body in the procedures requiring specialised knowledge – as proposed by B. Skiba, has been recognised in legal doctrine [14, p. 15].

T. Sawicki has noted that “in our country there are neither clear-cut procedures for conducting fire investigations nor a system of training “experts” to professionally determine the causes of fires” [15, p. 28]. This opinion, if considered accurate, does not imply that this is not advisable.

As stressed by B. Szerszenowicz, a reliable identification of the cause of a fire requires an expert witness to perform his/her work adequately. In criminal proceedings, the expert witness's opinion should contain no statements regarding guilt [16, p. 67] of the accused party or any legal assessments of that party's actions [17], as the power to determine these issues fully rests with the court [18] (this also concerns, *inter alia*, determining whether an attempt has been made to cause the fire, as defined in the Civil Code [19]). Moreover, W. Karasiński has noted that such an opinion can also contain some general conclusions, wider than those required as part of the expert opinion, and regarding, *inter alia*, the preventive measures taken within a plant, the provision of specialised equipment, or firefighting units, etc. [20].

Questions addressed to the expert witness cannot, at any rate, go beyond the competencies determined by his/her specialised knowledge [18, p. 22]. If the expert witness also takes into consideration other evidentiary material or data, which he/she has previously had access to in connection with acting as expert witness, this should be mentioned in the opinion [19, p. 10]. The concluding part should contain responses to the questions made by the judicial body [20, p. 8]. A. Koniuch and D. Małozieć have pointed out that the questions addressed to expert witnesses should refer to their firefighting expertise and allow the court to determine, on the basis of their responses, whether the criteria of a prohibited act have been fulfilled. Nonetheless, expert witnesses' opinions on firefighting issues must not contain any direct statements on the fulfilment of these criteria [24].

In the case of significant discrepancies, the authority commissioning expert witnesses is allowed to evaluate the arguments presented by two witnesses and the conclusions formulated through their confrontation [19, p. 10].

Given that it is not the expert witness's role to determine the actual status of the case (as responsibility for this rests with the judicial body), the methods of conducting criminal proceedings

W doktrynie odnaleźć można takie sformułowanie: „Pożary należą do tych zdarzeń, w których postępowanie dowodowe jest bardzo trudne. Do ustalenia miejsca, przyczyny powstania i rozprzestrzeniania się pożaru itp. potrzeba specjalisty – biegłego z zakresu pożarnictwa (ochrony przeciwpożarowej)” [13]. Wyjaśnić trzeba, że jest to pewne uproszczenie podążające w stronę języka potocznego. W procesie karnym występuje wyraźne odróżnienie specjalistów (czyli osób mających najczęściej wiedzę techniczną, będących pracownikami albo funkcjonariuszami organów ścigania i wykonujących czynności techniczne, w szczególności takie jak wykonanie pomiarów, obliczeń, zdjęć, utrwalenie śladów) od biegłych (czyli osób mających wiadomości specjalne, powoływanych do wydania opinii). W doktrynie pojawił się, zaprezentowany przez B. Skibę, postulat formalnego powołania instytucji konsultanta (uregulowania jej w procedurze karnej) – osoby, która udziela organowi procesowemu niezbędnej pomocy w czynnościach, wymagających wiedzy specjalistycznej [14, s. 15].

T. Sawicki wskazał, że „w naszym kraju nie ma zarówno opracowanych procedur prowadzenia dochodzeń popożarowych, jak i systemu przygotowania „ekspertów” do profesjonalnego ustalania przyczyn powstawania pożarów” [15, s. 28]. Pogląd ten – jeżeli jest prawdziwy – nie oznacza, że stan taki nie jest celowy.

Jak akcentował B. Szerszenowicz, tylko prawidłowo wykonana praca biegłego pozwala na wiarygodne określenie przyczyn pożarów. W odniesieniu do procedury karnej opinia biegłego nie powinna zawierać sformułowań dotyczących winy [16, s. 67] oskarżonego lub oceny prawnej jego czynu [17], ponieważ uprawnienia w tym zakresie leżą wyłącznie po stronie sądu [18] (podobnie jak – przykładowo – ustalenie, czy miało miejsce usiłowanie spowodowania pożaru w rozumieniu Kodeksu karnego [19]). Ponadto W. Karasiński zauważył, że opinia może zawierać wnioski natury ogólnej, szersze niż wynika to z ram ekspertyzy, np. dotyczące zabezpieczenia prewencyjnego zakładu, wyposażenia specjalistycznego obiektów i jednostek straży pożarnych itp. [20].

W żadnym przypadku pytania kierowane do biegłego nie mogą wychodzić poza kompetencje określone jego specjalnymi wiadomościami [18, s. 22]. Jeżeli biegły uwzględni również inne materiały dowodowe albo dane znane mu z jego działalności w charakterze biegłego, wówczas należy zaznaczyć to w opinii [19, s. 10]. Część końcowa powinna zawierać odpowiedzi na pytania postawione przez organ procesowy [20, s. 8]. A. Koniuch i D. Małozieć wskazali, że pytania zadawane biegłym powinny dotyczyć wiedzy fachowej z zakresu pożarnictwa i być precyzowane w sposób umożliwiający sądowi podjęcie decyzji, czy znamiona czynu zabronionego zostały wypełnione. Opinie biegłych z zakresu pożarnictwa nie powinny zawierać stwierdzeń dotyczących wypełnienia przedmiotowych znamion [24].

W przypadku istotnych rozbieżności organ zarządzający przeprowadzenie badania może poddać ocenie argumenty tych dwóch biegłych i wnioski wynikające z konfrontacji biegłych [19, s. 10].

Skoro rolą biegłego nie jest ustalanie stanu faktycznego sprawy (bo to wyłączna domena podmiotu prowadzącego postępowanie), to i metodyka postępowania karnego nie zależy od biegłego, który występuje wyłącznie na określonym etapie tegoż postępowania, nie jest jego gospodarzem i wykonuje je-

are also beyond the expert witness's control, since the expert's actions take place only at a given stage of the proceedings and are limited to the commissioned tasks. In addition, A. Krachala has stressed that expert witnesses can use the assistance of other people as regards technical and support activities [22, s. 51].

Nonetheless, it is far from true that there is no specific methodology of conducting criminal proceedings.

The procedural acts performed by using the knowledge of tactics and forensic techniques, as well as methodologies of conducting evidentiary proceedings in the cases relating to selected crimes, form part of the prosecutor apprenticeship programme (see Annex to Regulation No. 27/2014 of the Programme Council of the National School of the Judiciary and Prosecution Service).

Indeed, there is no official system of preparing expert witnesses for the professional identification of the causes of fires. Nor is there any system of preparing them for determining the causes of road accidents. However, there is some literature [26] as regards issuing opinions [23, p. 12]. What appears particularly important is having specialised knowledge and not how it has been acquired – as long as the knowledge that is shared is of high quality, there are no restrictions concerning its acquisition, whether at (postgraduate) studies or courses. A scientist, an exceptional theoretician in the given field, a State Fire Service officer with the adequate professional experience, and a fire protection appraiser having the adequate specialised knowledge – they can all be equally good expert witnesses. While there is no justified doubt as to the level of fire safety education, the methods of identifying the causes of fires may raise certain objections.

The fact that very specific and high requirements are imposed on expert witnesses (other than the currently required submission of documents to the chairperson of the relevant district court, proving the expert witness' competencies, e.g. participation in several scientific conferences) appears justified in the light of the responsibility they are expected to assume. While performing their expert witness duties, they must show impartiality and knowledge, as these are the indispensable conditions for properly conducting the process and determining the objective truth [19, p. 10]. The mistakes that sometimes happen are caused by the lack of sufficient knowledge or diligence, and also by relying on sources other than legal acts (e.g. public opinion) [19, p. 10].

P. Guzewski, D. Wróblewski and D. Małozieć have pointed out that "it also ought to be borne in mind that the suggested necessity for implementing changes in the field of fire investigation in Poland results not only from the reasonable needs and social rights guaranteed in the Constitution (the right to safety) but also from the need to adapt to the advances in fire investigation and the standards of identifying the causes of fires, binding in the European Union" [27].

Identifying the causes of fires

Identifying the causes of fires is "a natural element of fire protection, the principal purpose of which is to protect human life, health, property and the environment. Research on fires

dynie czynności zlecone. Dodatkowo A. Krachala podkreśla, że biegłemu wolno korzystać z pomocy innych osób jako swych pomocników w zakresie czynności technicznych i pomocniczych [22, s. 51].

Nie jest natomiast prawdą, że nie ma stosownej metodyki prowadzenia postępowań karnych.

Czynności procesowe realizowane z wykorzystaniem wiedzy z zakresu taktyki i techniki kryminalistycznej oraz metodyka postępowania dowodowego w sprawach o wybrane przestępstwa to element programu aplikacji prokuratorskiej (por. Załącznik do uchwały nr 27/2014 Rady Programowej KSSiP).

Istotnie nie ma urzędowego systemu przygotowywania biegłych do profesjonalnego ustalania przyczyn powstawania pożarów, podobnie jak brakuje go do ustalania przyczyn wypadków drogowych. Jednakże dostępna jest liczna literatura fachowa [26] dotycząca opinii [23, s. 12]. Znaczenie ma posiadanie wiadomości specjalnych, a nie sposób ich pozyskania – o ile przekazywana wiedza zawiera wysokie wartości merytoryczne, nie ma przeszkód do jej pozyskania np. w ramach kursu czy studiów (podyplomowych). Równie dobrym biegłym może być naukowiec, wybitny teoretyk ze swojej dziedziny, funkcjonariusz PSP z odpowiednim doświadczeniem zawodowym, jak i rzeczoznawca do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych posiadający odpowiednie wiadomości specjalne. Nie zachodzi uzasadniona obawa o poziom kształcenia w zakresie bezpieczeństwa pożarowego, natomiast zastrzeżenia może budzić metodyka ustalania przyczyn pożarów.

Stawianie biegłym konkretnych, wysokich wymagań (innych niż obowiązujące obecnie formalne przedstawienie dokumentów prezesowi właściwego sądu okręgowego wskazujących na kompetencje do bycia biegłym np. poprzez uczestnictwo w kilku konferencjach naukowych) uzasadnione jest spoczywającą na nich odpowiedzialnością. W swojej pracy muszą kierować się obiektywizmem i wiedzą – jest to niezbędny warunek prawidłowego przebiegu procesu i ustalenia prawdy materialnej [19, s. 10]. Zdarzające się pomyłki spowodowane są brakiem wiedzy lub solidności, a także sugerowaniem się źródłami poza aktami prawnymi (np. opinią publiczną) [19, s. 10].

P. Guzewski, D. Wróblewski i D. Małozieć wskazali, że „należy też mieć na uwadze, że formułowana konieczność przeprowadzenia zmian w obszarze dochodzeń popożarowych w Polsce wynika nie tylko z uzasadnionych potrzeb i praw społecznych gwarantowanych konstytucyjnie (prawo do bezpieczeństwa), ale również z konieczności dostosowania się do kierunków rozwoju dochodzeń popożarowych oraz standardów ustalania przyczyn pożarów w Unii Europejskiej” [27].

Ustalanie przyczyn pożarów

Ustalanie przyczyn pożarów jest „naturalnym elementem ochrony przeciwpożarowej, której nadrzędnym celem jest ochrona życia, zdrowia, mienia lub środowiska. Badania prowa-

and their causes constitutes a form of acquiring the cognitive material necessary for the proper formulation of the State's internal safety policy" [15, p. 25]. In addition, the knowledge so acquired contributes to updating and developing the expertise in this field. By analysing real-life cases, it is also possible to verify the results of theoretical studies or those obtained under laboratory conditions.

According to S. Machowicz, fire investigations "are procedures conducted in connection with the occurrence of a fire or a vapour cloud explosion. In Poland, the causes of fires are identified by various entities, including law enforcement bodies, the judiciary, and insurance market actors" [25, p. 51 et seq.]. This multitude of entities reflects the necessity for training professionals whose knowledge will make it possible to identify the causes of fires.

It is advocated that "criminal proceedings in cases related to causing a fire, as a generally dangerous event, are considered among the most complicated when it comes to evidence. This results from the fact that in such cases the investigation bodies can be left with little evidentiary material, while the initial – and extremely important for the overall effectiveness of the proceedings – measures are taken by the competent authorities right after the firefighters and other services taking part in the extinguishing and rescue operation complete their tasks" [23, p. 12].

It is not until the fire is extinguished that its actual cause can be identified, and only then can we determine, *inter alia*, whether we are dealing with arson, which is a criminal act, or whether any gross negligence has occurred as regards compliance with the applicable law, including fire protection regulations. "A set of actions performed during investigations provides the source of information on the course of the fire and its characteristics, serving the purpose of determining the circumstances, and the quality and quantity of burned-down property. Witnesses' testimony, the site of the fire origin, fire duration, the colour of smoke, wind direction, etc., all constitute extremely important elements" [1, p. 221]. The gathering of the complete analytical material is of primary importance for the correctness of the obtained results, while it is also worth noting that some of the activities cannot be done twice. Improperly conducted or poorly documented investigation can thwart the opinion-making process or provide grounds for the opinion's being challenged during evidence assessment. In addition, when determining the site of the fire origin, "members of the investigation team should rely on the various information gathered during the preliminary investigation, i.e. data obtained from firefighters, their own findings, and any testimony given by the injured parties or witnesses. This initially acquired knowledge should be then verified on the basis of the trace evidence revealed in the course of the detailed investigation of the site of the fire" [25, p. 51]. What is particularly important here is witnesses' testimony [23, p. 15].

"Prior to investigating the site of a fire, it is indispensable for the State Fire Service officers to take the appropriate steps to secure the site, prepare passageways, enable access to the seat of the fire and other objects, etc." [25, p. 51]. This observation is of a purely technical nature, illustrating the principles of moving around the site in a manner balancing the need to both collect evidence and maintain the safety at the site of the investigation.

dzione nad pożarami i ich przyczynami stanowią jedną z form uzyskiwania materiału poznawczego, niezbędnego dla określenia prawidłowej polityki państwa w zakresie bezpieczeństwa wewnętrznego" [15, s. 25]. Co więcej, pozyskana w ten sposób wiedza wpływa na aktualizację i rozwój stanu nauki w omawianym zakresie. Badania konkretnych przypadków pozwalają też na weryfikację wyników badań teoretycznych oraz uzyskiwanych w warunkach laboratoryjnych.

Dochodzenia popożarowe – jak pisze S. Machowicz – „są to postępowania prowadzone w związku z zaistnieniem zjawiska pożaru lub wybuchu przestrzennego. W Polsce ustalaniem przyczyn pożarów zajmują się różne podmioty. Są to organy ścigania, wymiaru sprawiedliwości czy też uczestnicy rynku ubezpieczeniowego” [25, s. 51 i in.]. Wskazywana wielość podmiotów obrazuje istnienie potrzeb w zakresie kształcenia profesjonalistów, których wiedza będzie pozwalała na określenie przyczyn pożarów.

Jak się podnosi „postępowania karne, których przedmiotem jest sprowadzenie pożaru jako zdarzenia powszechnie niebezpiecznego uznawane są za jedne z najbardziej skomplikowanych pod względem dowodowym. Wynika to z faktu, że w tego typu sprawach organy śledcze mogą dysponować niewielką ilością materiału dowodowego, natomiast pierwsze – niezwykle istotne dla efektywności postępowania – czynności, organy procesowe dokonują tuż po zakończeniu przez funkcjonariuszy straży pożarnej i innych służb akcji gaśniczej i ratunkowej” [23, s. 12].

Dopiero po ugaszeniu pożaru jest możliwe wyjaśnienie rzeczywistej przyczyny jego powstania, m.in. ustalenie, czy mamy do czynienia ze zbrodniczym podpaleniem, czy nie doszło do rażących zaniedbań w zakresie przestrzegania przepisów związanych np. z ochroną przeciwpożarową. „Zbiór czynności wykonywanych w wyniku oględzin stanowi źródło informacji o przebiegu pożaru, jego cechach, służy ustaleniu okoliczności, określeniu ilości i jakości spalonego mienia. Bardzo ważny element stanowią zeznania świadków, miejsce powstania pożaru, czas, kolor dymu, kierunek wiatrów itp.” [1, s. 221]. Prawidłowe ustalenie pełnego materiału badawczego ma istotne znaczenie dla poprawności uzyskiwanych wyników, a trzeba mieć na uwadze, że części czynności nie da się powtórzyć. Nieprawidłowo wykonane albo źle udokumentowane oględziny mogą wypaczyć możliwość wydania prawidłowej opinii albo ułatwić jej podważenie w procesie oceny dowodów. Uzupełnieniem powyższego stanowiska jest ocena, że lokalizując miejsce powstania pożaru, „członkowie grupy oględzinowej powinni opierać się na licznych informacjach zgromadzonych w trakcie oględzin wstępnych, a więc m.in. na danych uzyskanych od funkcjonariuszy straży pożarnej, własnych spostrzeżeniach, zeznaniach osób poszkodowanych bądź świadków. Wstępnie uzyskana wiedza powinna być następnie zweryfikowana na podstawie śladów kryminalistycznych ujawnionych w czasie prowadzenia oględzin szczegółowych miejsca pożaru” [25, s. 51]. Szczególnie podkreśla się, że istotne są zeznania świadków [23, s. 15].

„Przed przystąpieniem do przeprowadzenia badania pogorzeliśka koniecznym jest, aby funkcjonariusze Państwowej Straży Pożarnej poczynili odpowiednie zmiany w celu zabezpieczenia terenu, wykonali przejścia, umożliwili dostęp do ogniska pożaru i innych obiektów itp.” [25, s. 51]. Jest to spostrzeżenie czysto

B. Ościłowska has argued that documentation regarding the site of the event, as drawn up by the person in charge of the rescue operation, can also be the source of evidentiary material [28].

Summary

P. Guzewski has pointed out that “the scientific development of the studies of the causes of fires could not begin until modern times, and it was fostered by the flourishing of exact and natural sciences in the 19th and 20th centuries. The application of scientific knowledge in fire investigations has been actually practised only since the second half of the 20th century. This was when a belief was developed that the identification and analysis of the causes of fires could form an essential element of fire prevention. Since then, detailed analyses of the nature of fire have been conducted, and fire prevention programmes and technologies have been implemented. This made it possible to take informed prevention measures, in material, technological, structural, organisational and social terms. The flourishing of exact sciences and the technological advancements in the 20th century contributed in particular to improved safety standards and found practical application in facilitating the process of identifying the causes of fires” [9, pp. 905–906].

Undoubtedly, the activities and knowledge of expert witnesses are essential for fire safety. Only people with considerable specialised knowledge can materially support the operations of law enforcement bodies and contribute to the correct assessment of fire-related events.

As claimed by K. Karwowska and A. Gawliński, clarifying the circumstances of a fire is “a rather challenging task” from the forensic point of view. Initially, attempts are made to determine the factors that caused a fire, and those that contributed to its spreading [29]. The average degree of detectability of the cause of a fire is 30–38%. It is also worth noting that the analysis of such causes, as presented by S. Wieteska, has shown that women and retirees are responsible for a large number of arson cases [1, p. 218]. According to P. Piotrowski, the conducted research has also revealed that the arsonists, as compared to other criminals, show an increased interest in fire, persistently view the setting of fire as a “normal” behaviour, and display a reduced awareness of fire safety. In addition, they are characterised by generally low self-esteem, hostility and inclination to rumination, along with an increased tendency to respond with anger when provoked [30]. These findings should provide material for further studies and reviews, which may ultimately prove useful in determining the causes of fires.

One should also not forget that the activities of fire-safety expert witnesses are burdened with some shortcomings, including the lack of established methodology and working methods. Obviously, these not only concern fire-safety expert witnesses. Nonetheless, it appears justified to undertake a dis-

techniczne, obrazujące zasady poruszania się po pogorzelisku tak aby zrównoważyć potrzebę zebrania materiału dowodowego i konieczność zachowania bezpieczeństwa w miejscu przeprowadzania oględzin.

B. Ościłowska zauważa, że źródłem materiału dowodowego może być także dokumentacja dotycząca miejsca zdarzenia wykonywana przez kierującego działaniem ratowniczym (KDR) [28].

Podsumowanie

P. Guzewski wskazuje, że „rozwój naukowy badań przyczyn pożarów możliwy był dopiero w czasach nam współczesnych wraz z rozwojem nauk ścisłych i przyrodniczych w XIX i XX w. Zastosowanie podstaw naukowych w dochodzeniach popożarowych miało miejsce tak naprawdę dopiero w 2. poł. XX w., gdy zrozumiano, że istotnym elementem profilaktyki pożarowej może być identyfikacja oraz analiza przyczyn pożarów. Od tego czasu zaczęto szczegółowo badać naturę ognia, analizować okoliczności powstawania pożarów, wdrażać technologie oraz programy zapobiegające ich powstawaniu. Pozwoliło to po raz pierwszy na wprowadzanie świadomych oddziaływań profilaktycznych zarówno w aspektach materiałowym, technologicznym, konstrukcyjnym, jak i organizacyjnym oraz społecznym. Rozwój nauk ścisłych i rozwój technologiczny w XX w. w sposób szczególny przyczyniły się do poprawy standardów bezpieczeństwa oraz znalazły praktyczne zastosowanie w usprawnieniu procesu ustalania przyczyn pożarów” [9, s. 905–906].

Niewątpliwie działalność biegłych oraz ich wiedza odgrywają wiodącą rolę w zakresie bezpieczeństwa pożarowego. Wyłącznie osoby o wysokiej wiedzy specjalistycznej mogą istotnie wesprzeć działalność organów ścigania i przyczynić się do prawidłowej oceny zdarzeń związanych z pożarami.

Jak wskazali K. Karwowska i A. Gawliński, wyjaśnienie okoliczności pożaru „to dość ciężkie zadanie” z punktu widzenia kryminalistyki. Początkowo dąży się do ustalenia czynników, które pożar spowodowały oraz tych, które sprzyjały jego rozprzestrzenianiu [29]. Przeciętny stopień wykrywalności przyczyny pożaru wynosi 30–38%. Na marginesie można wspomnieć, że analiza przyczyn pożarów – przytoczona przez S. Wieteskę – wskazuje na wysoką liczbę podpałów dokonywanych przez kobiety i emerytów [1, s. 218]. Według P. Piotrowskiego z przeprowadzonych badań wynikało także, że sprawcy podpałów, w porównaniu do innych przestępców, wykazywali większe zainteresowanie ogniem, mieli utrwalone postawy legitymizujące podpalenie jako „normalny” sposób postępowania oraz przejawiali mniejszą świadomość w zakresie bezpieczeństwa pożarowego. Poza tym podpalacze charakteryzowali się niską samooceną ogólną, większą wrogością i skłonnością do ruminacji, a także większą tendencją do reagowania gniewem w odpowiedzi na prowokację [30]. Spostrzeżenia te powinny stanowić materiał do dalszych badań i weryfikacji, który finalnie może być pomocny w ustalaniu przyczyn pożarów.

Nie można tracić z pola widzenia tego, że działalność biegłych z zakresu pożarnictwa obarczona jest pewnymi niedostatkami, jak np. brakiem ustalonej metodologii i metodyki pracy. Oczywiście nie jest to przypadłość dotycząca wyłącznie bie-

cussion on the desirable level of their qualifications, and on the limits of their powers and competencies, as exercised in the work commissioned by law enforcement bodies and insurance companies. Perhaps such a discussion could cover both the rights vested in expert witnesses and the indication of the potentially most suitable moment for their specialised knowledge to be used.

głych z zakresu pożarnictwa. Niemniej z pewnością zasadne wydaje się podjęcie dyskusji o pożądanym poziomie kwalifikacji biegłych z zakresu pożarnictwa, jak również o granicach ich uprawnień i kompetencji w pracach dla organów ścigania i towarzystw ubezpieczeniowych. Być może zakresem dyskusji można objąć zarówno uprawnienia biegłych, jak i ustalenie potencjalnie najwłaściwszego momentu dla wykorzystania ich wiadomości specjalnych.

Literature / Literatura

- [1] Wieteska S., *Zjawisko podpaleni w Polsce jako element ryzyka w działalności gospodarczej*, „Annales. Etyka w Życiu Gospodarczym”, 2013, 16, 215–225.
- [2] Pachnik K., *Zapewnienie bezpieczeństwa w budynkach użyteczności publicznej w aspekcie wykrywania i zwalczania przestępstw o charakterze terrorystycznym*, w: *Bezpieczeństwo antyterrorystyczne budynków użyteczności publicznej. Analiza-diagnoza-case study*, B. Wiśniewska-Paź, M. Szostak, i J. Stelmach (red.), Toruń 2018.
- [3] Wolanin M., *Zasadnicze problemy dopuszczalności ustalenia i pobrania opłaty planistycznej oraz jej zwrotu, cz. V – naliczanie i pobieranie opłaty planistycznej*, „Nieruchomości” 2012, nr 1.
- [4] Janik P., *Rola i zadania prewencji pożarowej*, w: *Czerwona księga pożarów. Wybrane problemy pożarów oraz ich skutków*, t. II, P. Guzewski, D. Wróblewski, i D. Małozieć (red.), CNBOP-PIB, Józefów 2016.
- [5] Witczak D., *Pojęcie pożaru w świetle obowiązujących przepisów prawnych, nauki prawa i orzecznictwa*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2015, nr 1.
- [6] Pachnik K., *Podmioty wydające opinie z wykorzystaniem wiadomości specjalnych w prawie polskim*, „Problemy Kryminalistyki” 2015, t. 290.
- [7] Wyrok Naczelnego Sądu Administracyjnego z dnia 17 lipca 2012 r., sygn. akt II GSK 969/11.
- [8] Wyrok Naczelnego Sądu Administracyjnego, z dnia 23 maja 2017 r., sygn. akt II GSK 2424/15.
- [9] Guzewski P., *Metody i środki w ustalaniu źródła oraz przyczyny pożaru*, w: *Czerwona Księga Pożarów. Wybrane problemy pożarów oraz ich skutków*, P. Guzewski, D. Wróblewski, i D. Małozieć (red.), CNBOP-PIB, Józefów 2014.
- [10] Pachnik K., *Biegli w praktyce sądowej*, Siedlce 2015.
- [11] Wyrok Wojewódzkiego Sądu Administracyjnego siedziba w Warszawie, z dnia 3 grudnia 2008 r., sygn. akt VII SA/Wa 811/08.
- [12] Wyrok Sądu Apelacyjnego w Łodzi - I Wydział Cywilny, z dnia 30 stycznia 2018 r., sygn. akt I ACa 721/17.
- [13] Sawicki T., *Opinia biegłego sądowego z zakresu pożarnictwa – kim jest biegły sądowy, jaką wagę ma jego opinia, odpowiedzialność biegłego oraz zasady formułowania opinii i ich negatywne przykłady*, „Przegląd Pożarniczy”, 2015, 8.
- [14] Skiba B., *Wykorzystywanie opinii biegłych w sprawach o zbrodnicze podpalenia*, „Przegląd Pożarniczy” 1983, 6.
- [15] Sawicki T., *Dochodzenia popożarowe - niedoceniana szansa na poprawę bezpieczeństwa*, BiTP Vol. 23 Issue 2, 2011, pp. 25-30.
- [16] Szerszenowicz B., *Dowód z opinii biegłego w orzecznictwie Sądu Najwyższego*, „Wojskowy Przegląd Prawniczy” 1988, nr 1.
- [17] Wyrok Sądu Najwyższego, z dnia 27 września 1958 r., sygn. akt III KRN 1261/57.
- [18] Wyrok Sądu Najwyższego, z dnia 3 lipca 1987 r., sygn. akt III KR 235/87.
- [19] *Postanowienie Sądu Apelacyjnego w Krakowie, z dnia 8 grudnia 1993 r.*, sygn. akt II Akz 355/93.
- [20] Kasiński W., *Udział biegłych w sprawach o podpalenia*, „Przegląd Pożarniczy”, 1982, nr 8.
- [21] Terlikowski T., *Cele i zadania ekspertyzy w sprawach karnych o pożary*, „Zeszyty Naukowe SGSP”, 1990, nr 1.
- [22] Krachala A., *Funkcjonariusz pożarnictwa jako biegły*, „Przegląd Pożarniczy”, 1980, nr 7.
- [23] Terlikowski T., *Struktura opinii biegłego występującego w sprawach karnych o pożary*, „Zeszyty Naukowe SGSP”, 1991, nr 1.
- [24] Koniuch A., Małozieć D., *Art. 163 Kodeksu karnego w opiniach biegłych z zakresu pożarnictwa*, *Bezpieczeństwo Technika Pożarnicza*, nr 1, 2008.
- [25] Machowicz S., *Rozważania wokół biegłego*, „Przegląd Pożarniczy”, 1999, nr 10.
- [26] Wąsik N., Sygit B., *Wartość dowodowa zeznań świadków w sprawach karnych o pożary*, „Prokur. Prawo”, nr 2017, 12.
- [27] Guzewski P., Wróblewski D., Małozieć D., (red.), *Czerwona Księga Pożarów. Wybrane problemy pożarów oraz ich skutków*, t. I., Józefów 2016.
- [28] Ościłowska B., *Organizacja dochodzeń popożarowych w Polsce*, w: *Czerwona Księga Pożarów. Wybrane problemy pożarów oraz ich skutków*, P. Guzewski, D. Wróblewski, D. Małozieć (red.), Józefów 2014.
- [29] Karwowska K., Gawliński A., *Kryminalistyczne i sądowo-lekarskie aspekty badania zwłok ofiar pożarów*, „Stud. Zeszyty Naukowe”, 2015, t. 27 <https://doi.org/10.17951/szn.2015.18.27.28>.
- [30] Piotrowski P., *Sprawcy podpalenia – charakterystyka psychologiczna*, BiTP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 88–100, <https://doi.org/10.12845/bitp.45.1.2017>.

KAROL PACHNIK, PH.D. – Doctor of Legal Science; Associate Professor at the Faculty of Economic and Legal Sciences, the Siedlce University of Natural Sciences and Humanities, and academic teacher, inter alia, at the University of Warsaw and the War Studies University. Barrister, member of the Bar Association in Warsaw, and Disciplinary Court judge at the Bar Association in Warsaw. Expert of the W. Bayer Bar Research Centre during the term of office 2013-2016. Member of the Barrister Training Commission established within the Supreme Bar Council, during the term of office 2013-2016, member of the Barrister Training Commission established within the District Bar Council in Warsaw, and member of the Youth Association established within the District Bar Council in Warsaw. Chairman of the Administrative Law, and Case and Administrative Law Section established within the District Bar Council in Warsaw. Representative of the President of the Supreme Bar Council for legislation. Lecturer in barrister apprenticeship programmes and professional training programmes for barristers, and examiner during barrister examination in commissions appointed by the Minister of Justice. Reviewer of the *Młoda Palestra* magazine, *Scientific Papers of the War Studies University*, and the *Problemy Kryminalistyki* quarterly. He has appeared as a proxy before the Supreme Court, the Supreme Administrative Court and the Constitutional Tribunal. Member of the Polish Forensic Association and the Association for the Economic Analysis of Law.

DR KAROL PACHNIK – doktor nauk prawnych. Adiunkt na Wydziale Nauk Ekonomicznych i Prawnych Uniwersytetu Przyrodniczo-Humanistycznego w Siedlcach, wykładowca akademicki m.in. Uniwersytetu Warszawskiego i Akademii Sztuki Wojennej. Adwokat, członek Izby Adwokackiej w Warszawie, sędzia Sądu Dyscyplinarnego Izby Adwokackiej w Warszawie. Ekspert Ośrodka Badawczego Adwokatury im. adw. W. Bayera kadencji 2013-2016. Członek Komisji Inicjatyw Młodych Adwokatów przy NRA kadencji 2013-2016, członek Komisji Szkolenia Aplikantów Adwokackich Okręgowej Rady Adwokackiej w Warszawie i Koła Młodych przy ORA w Warszawie. Przewodniczący Sekcji Prawa Administracyjnego i Sądowo-Administracyjnego Okręgowej Rady Adwokackiej w Warszawie. Pełnomocnik Prezesa Naczelnej Rady Adwokackiej ds. legislacji. Wykładowca na aplikacji adwokackiej i w ramach wykładów doskonalenia zawodowego adwokatów oraz egzaminator na adwokackim egzaminie zawodowym w komisjach powoływanych przez Ministra Sprawiedliwości. Recenzent w czasopiśmie „Młoda Palestra”, „Zeszyty Naukowe Akademii Sztuki Wojennej” i „Problemy Kryminalistyki”. Jako pełnomocnik występował przed Sądem Najwyższym, Nacelnym Sądem Administracyjnym i Trybunałem Konstytucyjnym. Członek Polskiego Towarzystwa Kryminalistycznego i Stowarzyszenia Ekonomicznej Analizy Prawa.



Ministerstwo Nauki
i Szkolnictwa Wyższego

Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BITP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza” – zadanie finansowane w ramach umowy 658/P-DUN/2018 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

Łukasz Dudziński, M.A.^{a)*}; Piotr Konrad Leszczyński, Ph.D.^{b)}

^{a)} District Headquarters of the State Fire Service in Lublin / Komenda Miejska Państwowej Straży Pożarnej w Lublinie

^{b)} Faculty of Medical Sciences and Health Sciences, Siedlce University of Natural Sciences and Humanities / Wydział Nauk Medycznych i Nauk o Zdrowiu, Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

* Corresponding author / Autor korespondencyjny: lukasz_dudzinski@o2.pl

Analysis of Data on Inhalation Poisoning using the Example of the Łuków County in the years 2015–2017

Analiza danych dotyczących zatruc wziewnych na przykładzie powiatu łukowskiego w latach 2015–2017

ABSTRACT

Aim: This article presents an original analysis of inhalation poisoning data using the example of the Łuków County in 2015–2017. The data was obtained from cases to which Emergency Medical Services were dispatched. Most of such exposures were accidental or caused by negligence, and could be avoided by applying appropriate prevention and safety rules.

Introduction: Inhalation poisonings represent a small percentage of all poisonings. They are mainly associated with the heating season and carbon monoxide. The number of inhalation poisonings is much smaller than that of food poisonings, alcohol poisonings or drug overdoses but they also constitute a significant health risk for the public.

Methodology: The study was based on an analysis of medical documentation of the emergency medical services station in Łuków. The research material was composed of the information contained in the dispatch documentation of EMS teams, i.e. ambulance call records and medical rescue records for events related to inhalation poisoning. The selection of events from all those that occurred during the audited period was made on the basis of:

- information provided by the reporting person to the emergency number 999 or 112,
- ICD-10 code in the medical emergency record, i.e. diagnosis of the cause of the illness or event.

The analysed factors included age, sex, place of intoxication, seasonality and circadian variation of poisoning. The analysis also considered environmental conditions and the influence of stimulants.

Results: In the analysed period there were 80 events related to inhalation poisoning. There were 89 people exposed in 80 events (65% – men, 35% – women). Over 90% were cases of accidental poisoning. 60% of the events occurred at 7 am – 7 pm and 40% of the events occurred at 7 pm – 7 am. Of all exposures, 90% were single poisonings and the remaining 10% were multiple. Most poisonings (78%) occurred at the place of residence. Among all the victims, 56% were hospitalized in the county hospital in Łuków, 38% of patients remained at home (including due to death – 20% or lack of symptoms requiring hospital treatment – 18%), and almost 6% required immediate specialist treatment. Most incidents related to inhalation poisoning in the Łuków County occurred in rural areas – 56 out of 80. Most inhalation poisonings were caused by CO.

Keywords: inhalation poisoning, carbon monoxide, pesticides, respiratory tract, emergency response team

Type of article: case study

Received: 18.01.2019; **Reviewed:** 06.05.2019; **Accepted:** 30.06.2019;

Authors ORCID IDs: Ł. Dudziński – 0000-0002-8255-7608; P. K. Leszczyński – 0000-0002-3408-3591;

Percentage contribution: Ł. Dudziński – 70%; P. K. Leszczyński – 30%;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 174–187, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.11>;

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

ABSTRAKT

Cel: W poniższym artykule przedstawiono autorską analizę danych dotyczących zatruc wziewnych powiatu łukowskiego w latach 2015–2017, do których dysponowane były zespoły ratownictwa medycznego.

Wprowadzenie: Zatrucia wziewne stanowią niewielki odsetek wszystkich zatruc. Głównie kojarzy się je z okresem grzewczym i tlenkiem węgla. Ekspozycje te najczęściej są przypadkowe, dochodzi do nich również z zaniedbania. W większości można ich uniknąć, stosując odpowiednią profilaktykę i zasady bezpieczeństwa.

Metodologia: Badanie miało charakter analizy dokumentacji medycznej Stacji Ratownictwa Medycznego w Łukowie. Materiał pracy stanowiły informacje zawarte w dokumentacji wyjazdowej zespołów ratownictwa medycznego tj. kart zlecenia wyjazdu oraz kart medycznych czynności ratunkowych w zdarzeniach związanych z zatruciem wziewnym.

Selekcji zdarzeń spośród wszystkich, które wystąpiły w badanym okresie czasu dokonano na podstawie:

- informacji podanej przez osobę zgłaszającą na numer ratunkowy 999 lub 112,
- kodu ICD10 w karcie medycznych czynności ratunkowych tj. rozpoznania przyczyny choroby lub zdarzenia.

Analizie poddano czynniki takie jak: wiek, płeć, miejsce ekspozycji, sezonowość i cykl dobowy zatruc. W analizie uwzględniono też warunki środowiskowe oraz udział używek.

Wyniki: W 80 zdarzeniach ekspozycji poddanych zostało 89 osób: w tym 65% to mężczyźni, 35% – kobiety. Ponad 90% stanowiły zatrucia przypadkowe. 60% zdarzeń przypada na okres pomiędzy godzinami 7 a 19, a 40% – między 19 a 7. Wśród wszystkich ekspozycji 90% to zatrucia pojedyncze, pozostałe 10% – mnogie. Zdecydowana większość zatruc (78%) wydarzyła się w miejscu zamieszkania. Wśród wszystkich poszkodowanych 56% było hospitalizowanych w łukowskim szpitalu powiatowym, 38% osób pozostało w domu (w tym zgon 20% i brak objawów wymagających leczenia szpitalnego 18%), a prawie 6% wymagała szybkiego leczenia specjalistycznego. Przeważająca liczba zdarzeń związanych z zatruciami wziewnymi występuje na terenach wiejskich: 56 z 80. Większość zatruc wziewnych powodowana jest przez CO.

Słowa kluczowe: zatrucie wziewne, tlenek węgla, pestycydy, drogi oddechowe, zespół ratownictwa medycznego

Typ artykułu: studium przypadku

Przyjęty: 18.01.2019; **Zrecenzowany:** 06.05.2019; **Zatwierdzony:** 30.06.2019;

Identyfikatory ORCID autorów: Ł. Dudziński – 0000-0002-8255-7608; P. K. Leszczyński – 0000-0002-3408-3591;

Procentowy wkład merytoryczny: Ł. Dudziński – 70%; P. K. Leszczyński – 30%;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 174–187, <https://doi.org/10.12845/sft.51.3.2019.11>;

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

Introduction

Inhalation poisonings in the adult population, most of which are accidental, represent a significant threat to the health and life of people. Alongside trauma, they are the third major cause of death, frequent medical services intervention and hospitalisation in Poland [1]. Poison can enter the body through the digestive tract, respiratory system and, less frequently, through body cavities (nose, rectum, vagina). It can penetrate through the skin or be administered parenterally, intramuscularly, subcutaneously or intravenously. In the context of toxicology, the most significant pathways are by digestion and inhalation. Absorption by the respiratory tract is highly efficient due to the large surface area of this tract and the permeability of the air-blood barrier. The respiratory pathway plays a significant role in occupational and accidental poisoning [2].

The most common, and also the best-known, medium of exposure is carbon monoxide, an odourless, colourless gas formed as a result of the incomplete combustion of carbon compounds where there is not enough oxygen in the combustion process. When the room ventilation or flue liners are obstructed, during gas or solid-fuel heating, this gas concentrates inside rooms, which leads to dangerous poisoning [3].

However, cases of inhalation poisoning occur throughout the year and many of those are unrelated to the heating season or carbon monoxide. These are poisonings related to agriculture (during crop spraying, work with silage in silos [4]), deliberate spraying of gas or leaks in public places with large numbers of people present (school, workplace, mass event, such as a sporting occasion or concert). These causes are extremely rare in Poland, as well as in other European countries [5, 6, 7]. We should

Wprowadzenie

Zatrucia wziewne w populacji dorosłych, głównie niezamierzone, stanowią istotny problem zagrażający zdrowiu i życiu. Są wraz z urazami trzecią przyczyną zgonów w Polsce, a także częstych interwencji służb medycznych i hospitalizacji [1]. Trucizna może dostać się do organizmu przez układ pokarmowy, oddechowy, rzadziej przez jamy ciała (donosowo, doodbytniczo, dopochwowo). Może wnikać przez skórę lub też zostać podana pozajelitowo, domięśniowo, podskórnie lub dożylnie. Z punktu widzenia toksykologii największe znaczenie mają drogi pokarmowe oraz wziewne. Wchłanianie przez układ oddechowy przebiega z wysoką wydajnością ze względu na dużą powierzchnię dróg oddechowych oraz przepuszczalność bariery powietrze – krew. Droga wziewna odgrywa znaczącą rolę w zatruciach zawodowych oraz przypadkowych [2].

Najczęstszym – jednocześnie najbardziej znanym – medium ekspozycji jest tlenek węgla: bezwonny, bezbarwny gaz powstający w wyniku niecałkowitego spalania się związków węgla przy niedostatecznym udziale tlenu w procesie spalania. W przypadku niedrożnej wentylacji pomieszczeń lub przewodów kominowych, podczas ogrzewania gazowego lub paliwem stałym gaz ten koncentruje się w pomieszczeniach, wywołując groźne w skutkach zatrucia [3].

Jednak w skali roku obserwuje się występowanie zatruc wziewnych niezwiązanych ani z okresem grzewczym, ani z tlenkiem węgla. Są to zatrucia w obszarze rolnictwa (podczas prowadzenia oprysków, prac przy silosach z kiszonką [4]), celowe rozpylenie gazu lub rozszechlenie się instalacji w miejscach publicznych, gdzie przebywa duża liczba osób (szkoła, zakład pracy, impreza masowa typu wydarzenie sportowe, koncert). W Polsce wymie-

also mention designer drugs, which are available in a variety of forms, including inhaled. In the group of intentional self-poisonings caused by designer drugs, most involve teenagers from 13 to 18 years of age, the majority of which are boys [8, 9, 10, 11].

This paper discusses the causes, frequency, location and seasonality of the inhalation poisonings which occurred in the Łuków County, i.e. the operating area of the Emergency Medical Services Station (SRM) in Łuków, over a period of three years. The scale of the problem of inhalation poisoning is demonstrated on the basis of interventions made by emergency medical services (EMS) teams at SRM Łuków in the Lubelskie Province. The research data was obtained from the medical documentation of the dispatch teams of SRM Łuków. The analysis covered selected parameters increasing the risk of poisoning, such as season, time of day, exposure site, age, sex and other factors, e.g. the influence of alcohol and the number of exposures resulting in death.

Material and methods

The study involved data from three years of activity of SRM in Łuków, which is dispatched to 7–8 thousand interventions every year, which results in a three-year total of approx. 25 thousand calls. SRM Łuków is a unit subject to the County Hospital in Łuków. We obtained the Director's consent to access the documentation. The analysed data (regarding victims, EMS team call signs and composition, and cooperating services) are anonymous.

Dispatches based on data from the SRM Łuków Log, which lists every departure chronologically, were qualified to the study. The Log also features the basic statistical, address and medical data, information on the dispatcher's decision regarding the urgency of departure and information on handling the patient. By analysing the information contained in the Log, we were able to select those interventions which fulfilled the criteria adopted for this paper. We qualified events for analysis on the basis of the following criteria:

- 1) reason for the call, i.e. data provided to the ECC dispatcher by the caller (e.g. chest pain, lower limb trauma, high body temperature, vomiting). We also searched for a number of expressions potentially characteristic of inhalation poisoning:
 - vision disturbances following the use of gas,
 - unconscious in the bathroom,
 - collapsed in the bathroom,
 - smell of gas inside the house, feeling unwell,
 - was in a fire, feeling unwell,
 - feeling dizzy in the garage,
 - headache after working with crop protection products,
 - feeling nauseous after painting,
 - designer drug poisoning,
 - difficult to communicate with, suspected CO poisoning,
 - exposure to smoke,
 - feeling unwell, being poisoned by an unspecified substance;

nione przyczyny występują niezwykle rzadko, z częstotliwością podobną do innych państw w Europie [5, 6, 7]. Należy też wspomnieć o dopalaczach, które występują w różnych formach, również wziewnej. W grupie zatruc celowych spowodowanych dopalaczami dominuje grupa wiekowa nastolatków – od 13 do 18 roku życia, a w niej zdecydowana większość to chłopcy [8, 9, 10, 11].

Artykuł odnosi się do przyczyn, częstotliwości, lokalizacji i sezonowości zatruc wziewnych, które wystąpiły na terenie powiatu łukowskiego, rejonu operacyjnego Stacji Ratownictwa Medycznego w Łukowie, na przestrzeni trzech lat. Ukazano skalę problemu zatruc wziewnych na podstawie interwencji medycznych zespołów ratownictwa medycznego (ZRM) na przykładzie SRM Łuków w województwie lubelskim. Informacje do badania pozyskano z dokumentacji medycznej zespołów wyjazdowych SRM Łuków. Dokonano oceny wybranych parametrów zwiększających ryzyko wystąpienia zatrucia np: pora roku, pora dnia, miejsce ekspozycji, wiek, płeć, inne czynniki – np. wpływ alkoholu oraz liczby ekspozycji zakończonych zgonem.

Materiał i metody

Do badania włączono trzy lata działalności SRM w Łukowie, która rocznie realizuje 7–8 tys. interwencji, co w ciągu trzech lat daje liczbę ok. 25 tysięcy wezwań. SRM Łuków jest jednostką podlegającą pod Szpital Powiatowy w Łukowie. Uzyskano zgodę Dyrektora na dostęp do dokumentacji. Analizowane dane (poszkodowani, kryptonimy i składy osobowe ZRM oraz służby współpracujące) są anonimowe.

Do badania kwalifikowano zlecenia na podstawie danych zawartych w Dzienniku SRM, w którym każdy wyjazd jest wpisany chronologicznie w kolejności realizacji. Są tam również ujęte najważniejsze dane statystyczne, adresowe i medyczne, decyzja dyspozytora co do pilności wyjazdu i postępowanie z pacjentem. Analiza zawartych tam informacji pozwoliła na selekcję interwencji spełniających kryteria tematu artykułu. Zdarzenia kwalifikujące się do analizy typowano na podstawie poniższych kryteriów:

- 1) przyczyny wezwania, czyli danych które przekazał dyspozytorowi w CPR wzywający (np. ból w klatce piersiowej, uraz kończyny dolnej, wysoka temperatura, wymioty). Dodatkowo zwracano uwagę na użyte w wezwaniu określenia potencjalne dla zatruc wziewnych:
 - zaburzenia widzenia po użyciu gazu,
 - nieprzytomny w łazience,
 - zasłabł w łazience,
 - zapach gazu w domu, złe samopoczucie,
 - uczestnik pożaru, złe samopoczucie,
 - zawroty głowy w garażu,
 - ból głowy po pracy przy środkach ochrony roślin,
 - nudności, po malowaniu,
 - zatrucie dopalaczami,
 - utrudniony kontakt podejrzenie zatrucia CO,
 - ekspozycja na dym,
 - złe samopoczucie zatrucie nieznaną substancją;

2) ICD-10 code, i.e. medical diagnosis according to the International Classification of Diseases and Related Health Problems, entered by the EMS team leader. The leader of the basic team (P) is a medical rescuer or emergency medical services nurse, and in the specialised team (S) – an emergency medical services physician.

In analysing medical diagnoses, we took into account the disease codes potentially associated with inhalation poisoning. Example ICD10 codes relevant to this study:

- T29 – (Thermal and chemical) Burns of multiple regions,
- T41 – Poisoning: inhaled anaesthetics,
- T58 – Toxic effect of carbon monoxide,
- T59 – Toxic effect of other gases, fumes and vapours,
- T60 – Toxic effect of pesticides,
- T65 – Toxic effect of other and unspecified substances,
- T67 – Effects of heat and light,
- X00 – Exposure to uncontrolled fire in building or structure,
- X08 – Exposure to other specified smoke, fire and flames,
- X47 – Accidental poisoning by and exposure to other gases and vapours,
- X67 – Intentional self-poisoning by and exposure to other gases and vapours,
- Y26 – Exposure to smoke, fire and flames, undetermined intent,
- R98 – Unattended death,
- W40 – Explosion of other materials.

2) kodu ICD-10, czyli rozpoznania medycznego wg międzynarodowej klasyfikacji chorób i przyczyn zachorowania, wpisane go przez lidera ZRM. Liderem zespołu podstawowego (P) jest ratownik medyczny lub pielęgniarz systemu ratownictwa, a w zespole specjalistycznym (S) – lekarz systemu.

Analizując rozpoznania medyczne, zwracano uwagę na kody chorób potencjalnie związanych z zatruciem wziewnym.

Przykładowe kody ICD10 istotne dla badania:

- T29 – oparzenia termiczne i chemiczne mnogich okolic ciała,
- T41 – zatrucie środkami znieczulającymi wziewnymi,
- T58 – efekt toksyczny tlenku węgla,
- T59 – efekt toksyczny gazów dymów, par,
- T60 – efekt toksyczny pestycydów,
- T65 – efekt toksyczny innych nieokreślonych substancji,
- T67 – skutki działania gorąca,
- X00 – narażenie na niekontrolowany pożar budynku, budowli,
- X08 – narażenie na inny nieokreślony dym, ogień, płomień,
- X47 – przypadkowe zatrucie przez narażenie na gazy, pary,
- X 67 – zamierzone zatrucie przez narażenie na gazy, pary,
- Y 26 – narażenie na dym, ogień płomień o nieokreślonym zamiarze,
- R98 – śmierć nieoczekiwana,
- W 40 – wybuch innych materiałów.

Results

The research material was composed of 80 ambulance call records of the EMS from 2015–2017. Table 1 presents the numbers of departures in each year, cases qualified for analysis and people exposed.

Wyniki

Materiał badawczy stanowiło 80 kart wyjazdowych ZRM z lat 2015–2017. Liczba wyjazdów w każdym roku, przypadków zakwalifikowanych do analizy oraz osób poddanych ekspozycji obrazuje tabela 1.

Table 1. Summary of the number of EMS team departures in the years 2015–2017

Tabela 1. Zestawienie liczby wyjazdów ZRM w latach 2015–2017

Year Rok	All EMS team departures Wszystkie wyjazdy ZRM	The number of poisonings Liczba zatruc	The number of people exposed Liczba osób narażonych
2015	5782	29 (0.5%)	32
2016	7830	27 (0.34%)	30
2017	7890	24 (0.3%)	27
2017	1.3	2.3	2.3

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The data presented in table 1 demonstrates that the total number of EMS team departures is increasing every year. The largest number of inhalation poisoning cases were recorded in 2015 (29), the lowest number – in 2017 (24). Eighteen cases were fatal. Six cases are multiple poisonings (usually involving

Z danych zawartych z tabeli 1 wynika, że z każdym kolejnym rokiem wzrasta ogólna liczba wyjazdów ZRM. Najwięcej przypadków zatruc wziewnych odnotowano w roku 2015 (29), najmniej – w 2017 (24). Osiemnaście przypadków zakończyło się zgonem narażonej osoby. Sześć przypadków to zatrucia mnogie

relatives, when the issue concerned faulty ventilation or a fire at home in a garage or in a utility building). In each of the studied years, cases connected with the subject of this paper constituted no more than 0.5% of all interventions by SRM Łuków.

(najczęściej osoby spokrewnione, gdy problem dotyczył wadliwej wentylacji lub pożaru w domu, w garażu, w pomieszczeniach gospodarczych). W każdym badanym roku przypadki związane z tematem badań stanowiły nie więcej niż 0,5% wszystkich interwencji SRM Łuków.

Seasonal and monthly variability in the number of poisonings

In the analysed years the number of interventions connected with inhalation exposure remained at a similar level (26.6 exposures per year on average). Figure 1 shows the number of interventions per month in the analysed three-year period. The month with the highest number of events covered by the analysis was January 2016 – 9 events. There were no interventions covered by this analysis in July and August 2016 and in July and November 2017 (figure 1).

Zmienność liczby zatruc w ujęciu sezonowym i miesięcznym

W analizowanych latach liczba interwencji związanych z ekspozycją wziewną utrzymywała się na podobnym poziomie (ze średnią 26,6 ekspozycji na rok). Liczba interwencji przypadająca na każdy z miesięcy w analizowanym trzyletnim okresie obrazuje rycina 1. Miesiącem z największą liczbą zdarzeń objętych analizą jest styczeń 2016 r. – 9 zdarzeń. Natomiast lipiec i sierpień 2016 oraz lipiec i listopad 2017 to miesiące bez interwencji objętych analizą (ryc. 1).

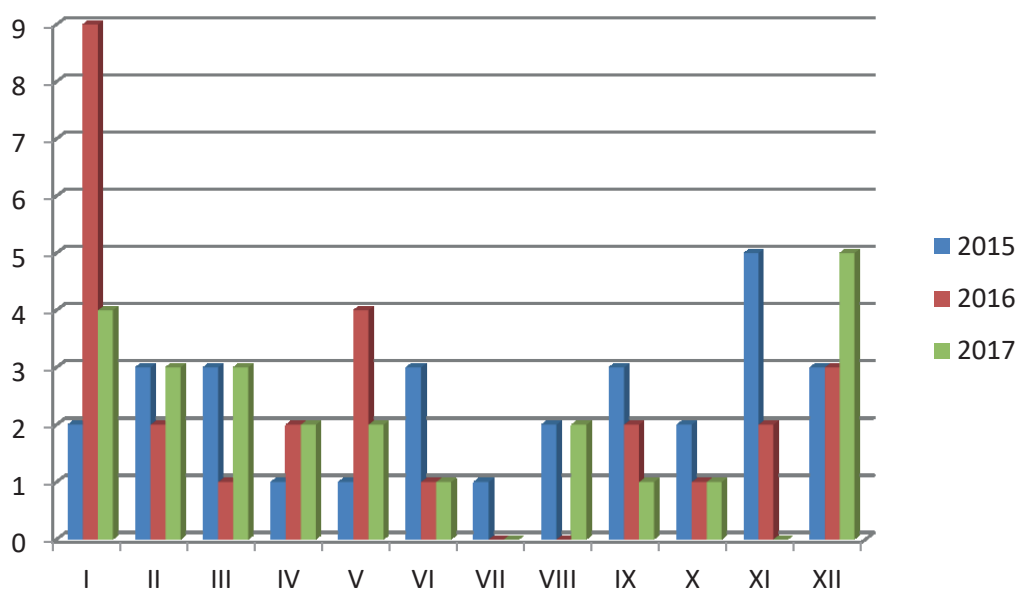


Figure 1. Number of exposures in each month of the three-year analysis period

Rycina 1. Liczba ekspozycji w każdym miesiącu trzyletniego okresu analizy

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Exposure site

Most events in the analysed period occurred in rural areas (70%).

Several factors might be involved:

- residents of rural areas are the majority of the county's population (the total population of the county's three towns is less than 40 thousand, which is illustrated in Figure 2),
- many work establishments (cold store buildings and food processing plants, mushroom farms, welding shops,

Miejsce ekspozycji

Większość zdarzeń w analizowanym okresie dotyczy terenów wiejskich (70%).

Może na to wpływać kilka czynników:

- mieszkańcy terenów wiejskich stanowią większość mieszkańców powiatu (w trzech miastach na terenie powiatu mieszka mniej niż 40 tys. mieszkańców, co graficznie przedstawione jest na rycinie 2),
- wiele zakładów pracy (chłodnie i przetwórnice owoców, pieczarkarnie, zakłady spawalnicze, stacje obsługi po-

vehicle service centres, craft workshops) are located in rural areas in the outskirts of towns,

- agricultural land and agriculture-related work (crop spraying, work with internal combustion engine equipment),
- residents of towns and cities live in blocks of flats equipped with central heating installations and do not need to use their own boiler rooms.

jazdów, zakłady rzemieślnicze) zlokalizowanych jest na terenach wiejskich na obrzeżach miast,

- tereny rolnicze i związane z rolnictwem prace (opryski, prace ze sprzętem spalinowym),
- mieszkańcy miast w blokach posiadają ogrzewanie centralne, nie muszą palić w kotłowniach.

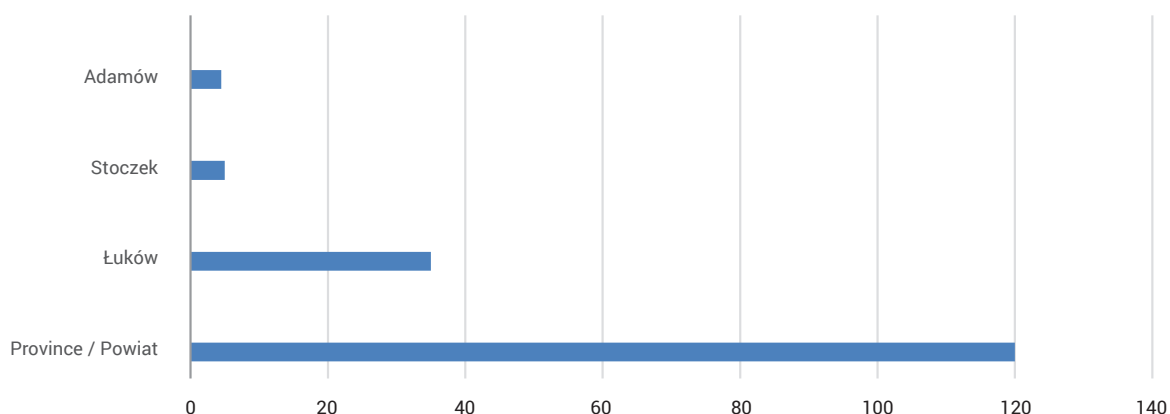


Figure 2. Population of the Łuków County (powiat) and its three towns (in thousands) [12]

Rycina 2. Populacja powiatu łukowskiego i trzech miast (w tysiącach) [12]

The location of the EMS was dictated by the largest population concentrations in the county:

- the town of Łuków – two teams, S and P,
- the town of Stoczek Łukowski – one P team,
- the town of Adamów – one S team.

Figure 3 presents the base locations of dispatch teams of SRM Łuków.

S – specialised team composed of: a physician, a medical rescuer, a medical rescuer-driver, with the physician being the leader of the EMS team.

P – basic team (without a physician) composed of: a medical rescuer / an EMS nurse, a medical rescuer / an EMS nurse, driver. In a P team one of the medical rescuers or EMS nurses is the leader [14].

The number of departures per EMS team in the analysed material:

- basic team Łuków (P) – 18 events; independent operation, additionally three multiple events (cooperation with Łuków's S team),
- specialised team Łuków (S) – 19 events; independent operation, additionally three multiple events (cooperation with Łuków's P team),
- basic team Stoczek Łukowski – 14 events,
- specialised team Adamów – 26 events.

The health consequences following exposure are affected by the distance from the National Emergency Medical Services station and the units of the National Firefighting and Rescue System, as it translates into the time of starting the intervention and implementing the rescue procedures. In the case of NFRS

Lokalizacja ZRM związana jest z największymi skupiskami ludności w powiecie:

- miasto Łuków – stacjonują dwa zespoły S i P,
- miasto Stoczek Łukowski – stacjonuje jeden zespół P,
- miasto Adamów – stacjonuje jeden zespół S.

Lokalizację zespołów wyjazdowych SRM Łuków obrazuje rycina 3.

S – zespół specjalistyczny w składzie: lekarz, ratownik medyczny, ratownik medyczny – kierowca, w którym lekarz pełni rolę kierownika ZRM

P – zespół podstawowy (tzw. bez lekarza) w składzie: ratownik medyczny / pielęgniarka systemu, ratownik medyczny / pielęgniarka systemu, kierowca. Z zespole P jeden z ratowników medycznych lub pielęgniarek systemu pełni rolę kierownika (lidera) ZRM [14].

Liczba wyjazdów przypadająca na każdy ZRM w analizowanym materiale:

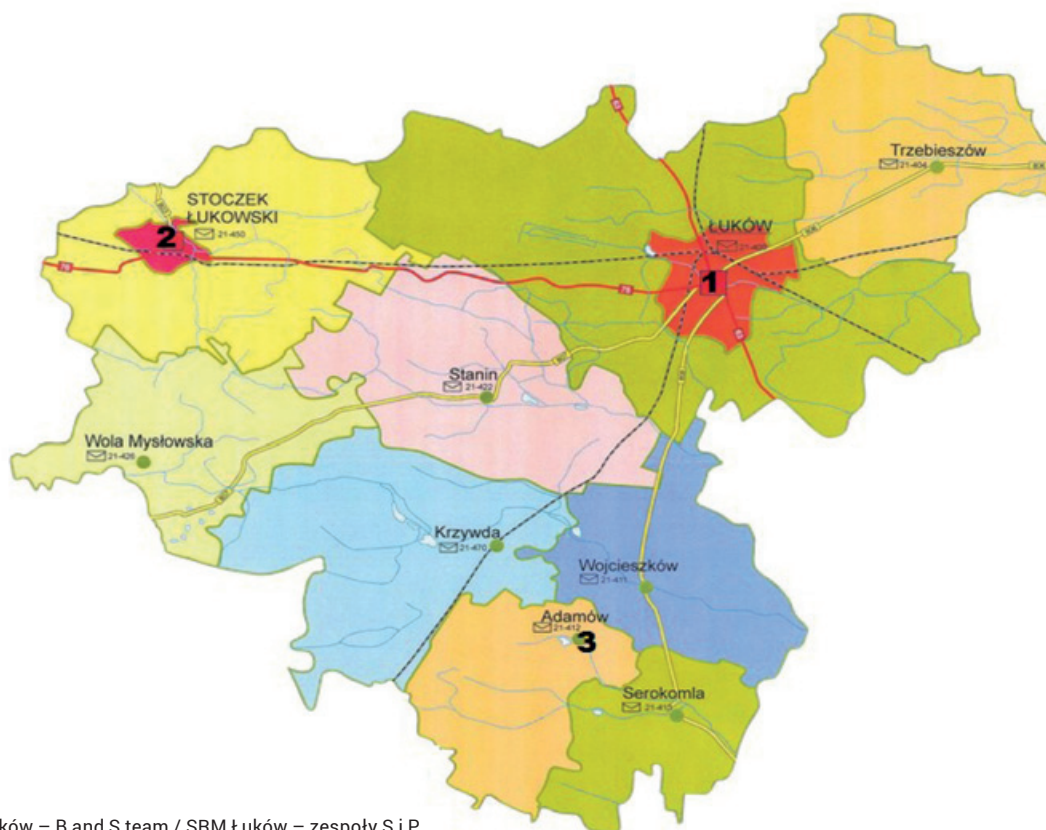
- zespół podstawowy Łuków – osiemnaście zdarzeń; działanie samodzielne, dodatkowo trzy zdarzenia mnogie (współdziałanie z zespołem S z Łukowa),
- zespół specjalistyczny Łuków – dwiętnaście zdarzeń; działanie samodzielne, dodatkowo trzy zdarzenia mnogie (współdziałanie z zespołem P z Łukowa),
- zespół podstawowy Stoczek Łukowski – czternaście zdarzeń,
- zespół specjalistyczny Adamów – dwadzieścia sześć zdarzeń.

Na konsekwencje zdrowotne po wystąpieniu ekspozycji wpływa odległość od miejsca stacjonowania zespołów Państwowego Ratownictwa Medycznego oraz jednostek Krajowego Systemu

one should take into account the State Fire Service units, as well as some of the Voluntary Fire Service units, which, due to better equipment, training and response time is included in the NFRS.

When the poisoning happened, the victims were at home, work, school or in an agricultural holding (which does not correspond to the statistics for the place of residence). This location was determined by their professional activity, education or everyday matters. Table 2 shows numbers of events by site of exposure.

Ratowniczo Gaśniczego, ponieważ przekłada się ona na czas rozpoczęcia interwencji i wdrożenia procedur ratowniczych. W przypadku KSRG należy brać pod uwagę jednostki PSP i część OSP, która ze względu na lepszy sprzęt, wyszkolenie członków i czas reakcji na wezwanie jest włączona do KSRG. Lokalizacje, w których dochodziło do zatruc – dom, zakład pracy, szkoła, gospodarstwo rolne – to miejsca przebywania poszkodowanych w momencie zdarzenia(nie pokrywające się z statystyką miejsca zamieszkania), wynikające z aktywności zawodowej, edukacji lub spraw codziennych. Dany podział obrazuje tabela 2 z liczbą zdarzeń przypadających dla konkretnego miejsca ekspozycji.



1. EMS Łuków – B and S team / SRM Łuków – zespoły S i P
2. podstacja SRM – zespół P / SRM Łuków – zespoły S i P
3. podstacja SRM – zespół S / SRM Łuków – zespoły S i P

Figure 3. Map of the county with the location of EMS stations [12, 13]

Rycina 3. Mapa powiatu z lokalizacją miejsc stacjonowania ZRM [12, 13]

The age of people exposed to poisoning

We found that the age groups most exposed to poisoning are 41–50 and 51–60. Each of these groups accounts for 22% of all cases. The everyday responsibilities of people in these age groups cause a greater risk of exposure (heating the house, agricultural work, occupational exposure). The average age of the victims from the analysed interventions was 48.5 years for men and 50.5 years for women. The average age did not take into account two cases with the diagnosis of R96 (found dead on arrival by the EMS) – in both cases it was not possible to deter-

Wiek osób narażonych na zatrucie

W przeprowadzonej analizie grupa wiekowa najbardziej narażona na zatrucia mieści się w przedziale 41–50 lat oraz 51–60 lat. Oba przedziały wiekowe stanowią po 22% wszystkich przypadków. Codzienne obowiązki przypisane do tych grup wiekowych powodują większe ryzyko ekspozycji (ogrzewanie domu, prace w rolnictwie, ekspozycje zawodowe). Średnia wieku poszkodowanych z interwencji wziętych do analizy wniosła 48,5 roku dla mężczyzn i 50,5 roku dla kobiet. Do średniej wieku poszkodowanych nie wzięto pod uwagę dwóch przypadków z rozpoznaniem R96

mine the patient's age. The dispatch team can determine the age on the basis of the patient's documents (identity card, discharge summaries from previous treatment), through interviews with the patient's family or with police assistance. In both discussed cases it was not possible to determine the exact age. The medical emergency records (MER) suggest that the estimated age was around 70 and around 50 years of age.

(zgon pacjenta przed przybyciem ZRM) – w obu nie było możliwości ustalenia wieku pacjenta. Zespół wyjazdowy może ustalić wiek na podstawie dokumentów pacjenta (dowód osobisty, karty wypisowe z poprzedniego leczenia), poprzez wywiad z rodziną pacjenta lub przy pomocy policji. W obydwu omawianych przypadkach nie było możliwości ustalenia dokładnego wieku. Z opisu karty medycznych czynności ratunkowych (KMCR) wynika, że mogły to być osoby w szacunkowym wieku ok. 70 i 50 lat.

Table 2. List of events by site of exposure

Tabela 2. Wykaz zdarzeń ze względu na miejsce ekspozycji

No.	Site of exposure / Miejsce ekspozycji	The number of events / Liczba zdarzeń	Percentage / Udział [%]
1	household	63	78.8%
2	agriculture, work in agriculture	6	7.6%
3	job, workplace	3	3.7%
4	school	3	3.7%
5	public place	3	3.7%
6	no data	2	2.5%

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Causes of poisoning

In the analysis, we tried to determine the causes of poisoning and compared the findings with the later medical diagnosis. The stated reason for the call is often different than actually found and determined by the EMS at the event site. The data provided during the call tend to be inaccurate, incoherent and chaotic, as the calls are often made by random individuals.

The caller acts under the influence of strong emotions, speaking fast or indistinctly. Sometimes the calls are made from sites where there is poor transmission quality. Callers may be under-age or intoxicated by alcohol. On some occasions, it is the victim who calls the EMS, which might present communication difficulties due to the injuries suffered. When calling for help, witnesses and members of the public use colloquial language ("he's lying down", "he fell", "I can't get through to him"). On arrival, the EMS team makes the medical diagnosis, classifying the patient as either unconscious, subject to sudden cardiac arrest or affected by syncope. In every incident, the patient's condition, place of call, number of people involved and reason for the call are verified by the team and the medical diagnosis is determined on the basis of the actual situation, often differing from the information established from the call. Tables 3 and 4 show the differences between the information contained in the EMS call and the medical diagnosis and their percentage share.

The most frequent reason for ambulance calls – unconscious – loss of consciousness – occurred in nine cases (table 3). The most common diagnosis – R96 Death – was declared in eighteen of the analysed ambulance calls (table 4).

Przyczyny zatruc

W analizie podjęto próbę zbadania przyczyn zatruc oraz zestawiono wnioski z późniejszym rozpoznaniem medycznym. Podawana przyczyna wezwania często jest niezgodna z tym, co ZRM zastało i rozpoznało na miejscu zdarzenia. Dane podawane przy wezwaniu mogą być często nieprecyzyjne, niespójne i chaotyczne, ponieważ zgłoszenia dokonuje często osoba przypadkowa.

Wzywający ZRM działa pod wpływem znacznych emocji, mówiąc szybko lub niewyraźnie. Może kontaktować się także z miejsca, które nie gwarantuje dobrej jakości przekazu. Wezwania zespołu może dokonać osoba niepełnoletnia lub osoba pod wpływem alkoholu. Wzywającym może być osoba poszkodowana, z którą kontakt może być utrudniony z powodu doznanych urazów. Świadczenie zdarzenia i osoby postronne wzywające pomoc używają słownictwa potocznego (np. leży, upadł, bez kontaktu). Przybyły na miejsce ZRM ustala rozpoznanie medyczne jako: nieprzytomny, nagłe zatrzymanie krążenia, omdlenie. W każdym incydencie stan pacjenta, miejsce wezwania, liczba osób i przyczyna wezwania jest weryfikowana przez zespół i zgodnie ze stanem faktycznym ustalone zostaje rozpoznanie medyczne sklasyfikowane inaczej niż w wezwaniu. Różnice między informacją zawartą w wezwaniu ZRM a rozpoznaniem medycznym oraz ich udział procentowy w analizie obrazują tabele 3 i 4.

Najczęstsza przyczyna wezwań – nieprzytomny / utrata przytomności – pojawia się w dziewięciu przypadkach (tab. 3). Najczęstsze rozpoznanie – R96 zgon – zapadło przy osiemnastu analizowanych wezwaniach (tab. 4).

Table 3. The most frequently reported reasons of ambulance calls**Tabela 3.** Najczęściej zgłaszane przyczyny wezwania

No.	Site of exposure / Miejsce ekspozycji	The number of events Liczba zdarzeń	Percentage / Udział [%]
1	unconscious, loss of consciousness / nieprzytomny, utrata przytomności	9	11.25%
2	zawroty głowy / dizziness	7	8.75%
3	fainting / zasłabnięcie	5	6.25%
4	fire / pożar	5	6.25%
5	person lying on the ground / leży człowiek	4	5%
6	nausea / nudności	4	5%
7	vomiting / wymioty	3	3.75%
8	behavioral disorders / zaburzenia zachowania	3	3.75%
9	dyspnoea / duszność	3	3.75%
10	headache / ból głowy	3	3.75%
11	weakness / osłabienie	3	3.75%
12	poisoning / zatrucie	3	3.75%
13	carbon monoxide / poisoning zatrucie czadem	3	3.75%
14	other reasons of ambulance call / inna przyczyna wezwania	25	31.25%

Source: Own elaboration.**Źródło:** Opracowanie własne.**Table 4.** Most frequently entered medical diagnoses for the analysed events**Tabela 4.** Najczęściej wpisywane rozpoznania medyczne w analizowanych zdarzeniach

No.	Medical diagnoses / rozpoznanie medyczne	Quantity / Liczba	Percentage / Udział [%]
1	R96 – other sudden death, cause unknown R96 – zgon, przyczyna nieznana	18	22.50%
2	R55 – Syncope and collapse R55 – omdlenie i zapaść	8	10%
3	X47 – accidental poisoning by and exposure to other gases and vapours X47 – przypadkowe zatrucie przez gazy i pary	6	7.50%
4	X49 – accidental poisoning by chemicals X49 – przypadkowe zatrucie przez środki chemiczne	4	5%
5	T65 – toxic effect of unspecified substance T65 – efekt toksyczny nieokreślonych substancji	3	3.75%
6	T59 – toxic effect of other gases, fumes and vapours T59 – efekt toksyczny gazów, dymów, par	3	3.75%
7	X69 – intentional self-poisoning by chemicals X69 – zamierzone zatrucie przez środki chem.	3	3.75%
8	other medical diagnoses inne rozpoznanie medyczne	35	43.75%

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

A comparison of data from Table 3 item 1 and Table 4 item 1 highlights a frequent situation occurring when calling EMS. The person calling the ambulance sees a person lying on the ground who is not moving or responding to verbal prompts. As the caller did not witness the person falling and does not know how long the person has been lying, he or she reports that the person is unconscious. In eighteen cases patients were found dead on arrival by the EMS.

The gender of exposed individuals

Most exposures in the analysed documentation involve men (65%) and the remaining 35% are women (this division includes minors). This proportion is caused by several factors. Men are more likely to work in agriculture, in central heating boiler rooms in houses or use internal combustion engines in machines (repair shops, production halls). Alcohol abuse is a factor increasing the risk of fire and inhalation poisoning. The risk level for men and women is similar when the exposure is caused by a random event such as a fire or inadequate ventilation during sleeping hours.

Summary

Statistical data shows that inhalation poisoning occurs mainly during the winter (heating) season, as most of them are caused by exposure to carbon monoxide and other noxious substances produced in the combustion process. During the winter season there are fires in boiler rooms, soot fires in chimney ducts, leaks in heating systems, smoke rollback events and even cases of deliberate obstruction of ventilation openings (with the intention of keeping the heat inside the house) [15]. The seasonality of carbon monoxide poisonings according to statistics (KG PSP for 2015) is presented in figure 4. In annual terms, there are between 3,600 and 4,500 such seasonal CO poisonings, which include hospitalisations and deaths (around 8–10%) [16, 17]. The average monthly numbers of poisonings for the winter months (November – March) are nearly five times higher than for the remaining months (April – October). An analysis for the individual months demonstrates that the presence of poisoning cases depends on outside air temperature – more incidents are recorded when the temperature falls, particularly when average monthly temperatures are below 10°C.

Figure 4 covers events occurring throughout Poland and Figure 5 presents the local situation (within the county as the area of operation of SRM Łuków). According to our analysis (figure 5), the data regarding the seasonality of inhalation poisonings are quite different from those presented in figure 4.

While inhalation poisoning is commonly associated with the heating season and carbon monoxide, our analysis demonstrated that the distribution of events throughout the year is roughly even in all months. In winter exposures are related to heating and in the summer – with agriculture (crop spraying – crop

Zestawienie danych z tab. 3 poz. 1 i tab. 4 poz. 1 obrazuje częstą sytuację podczas wzywania ZRM. Wzywający widzi osobę, która leży, nie porusza się, nie ma z nią kontaktu słownego. Ponieważ nie był świadkiem tego, jak upadała i nie wie, jak długo leży w zastanym miejscu, traktuje ją jak osobę nieprzytomną i taki stan zgłasza pod numerem alarmowym. Osiemnaście przypadków zakończyło się zgonem osoby poszkodowanej przed przybyciem ZRM.

Płeć narażonych osób

Większość ekspozycji w analizowanej dokumentacji dotyczy mężczyzn (65%), pozostałe 35% ekspozycji odnosi się kobiet (w podziale uwzględniono osoby niepełnoletnie). Na powyższe proporcje wpływa kilka czynników. Mężczyźni częściej prowadzą prace w rolnictwie, w przydomowej kotłowni centralnego ogrzewania pracując z użytkowaniem silników spalinowych w maszynach (warsztaty samochodowe, hale produkcyjne). Nadużywanie alkoholu jest czynnikiem zwiększającym ryzyko pożaru i zatrucia wziewnego. Porównywalne ryzyko ekspozycji zarówno dla mężczyzn, jak i kobiet występuje, gdy przyczyną zdarzenia jest zjawisko losowe: pożar, niewłaściwa wentylacja domu podczas nocnego odpoczynku.

Podsumowanie

Według danych statystycznych zatrucia wziewne występują głównie w okresie zimowym (grzewczym), ponieważ wśród nich przeważa narażenie na tlenek węgla i substancje szkodliwe występujące podczas procesów spalania. W trakcie sezonu grzewczego dochodzi do pożarów w kotłowniach, pożarów sadzy w układzie kominowym, nieszczelności w układzie grzewczym, cofania się dymu lub wręcz celowego zatykania wentylacji (pożorne utrzymanie ciepła w domu) [15]. Sezonowość zatruc tlenkiem węgla wg statystyk (KG PSP za 2015) pokazuje rycina 4. Rocznie to między 3600 a 4500 przypadków zatruc CO, w tym zawierają się hospitalizacje i zgony (ok. 8–10%) [16, 17]. Średnie miesięczne liczby zatruc dla miesięcy zimowych (listopad – marzec) blisko pięciokrotnie przewyższają liczbę takich zdarzeń dla pozostałych miesięcy (kwiecień – październik). Analiza dla poszczególnych miesięcy pokazuje zależność występowania zatruc od temperatury powietrza – odnotowanych incydentów jest więcej wraz ze spadkiem temperatury, szczególnie przy średnich temperaturach miesięcznych poniżej 10°C.

Rycina 4 dotyczy zdarzeń występujących w całym kraju a rycina 5 sytuacji lokalnej (o zasięgu powiatowym jako rejonie działania SRM Łuków). W przeprowadzonej analizie (rycina 5) dane dotyczące sezonowości zatruc wziewnych nieco odbiegają od danych zawartych w rycinie 4.

Zatrucia wziewne kojarzą się głównie z okresem zimowym i tlenkiem węgla. W prowadzonej analizie rozkład zdarzeń w skali roku utrzymuje się na podobnym poziomie we wszystkich miesiącach. W okresie zimowym są to ekspozycje związane z ogrzewaniem, a w okresie letnim – z rolnictwem (opryski – środki ochrony roślin). Dla zatruc wziewnych celowych, przypadko-

protection products). For intentional self-poisonings, as well as accidental and occupational poisonings, there is no significant dependence on the season or month. Still, these cases are an important diagnostic and therapeutical issue for EMS [18, 19].

Every year, the National Headquarters of the State Fire Service website publishes statistics of firefighter interventions in a variety of events, including the numbers of injuries and fatalities. In the available data for the 2015/16 and 2016/17 winter seasons the numbers of fatalities caused by carbon monoxide poisoning were 50 and 61, respectively, and the number of poisoned individuals taken to hospital in both seasons exceeded 2,200 [16].

wych lub związanych z pracą zawodową pora roku i miesiąc nie mają istotnego znaczenia. Stanowią one jednak ważny problem diagnostyczno-terapeutyczny na poziomie ZRM [18, 19].

Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej corocznie publikuje na swojej stronie statystyki dotyczące interwencji strażaków w różnych zdarzeniach, uwzględniając w tym również poszkodowanych i ofiar śmiertelnych. W dostępnych danych za sezon zimowy 2015/16 i 2016/17 liczba ofiar śmiertelnych spowodowanych zatruciem tlenku węgla wynosiła odpowiednio 50 i 61 osób, zaś liczba osób poszkodowanych podtrutych przewiezionych do szpitala w obydwu sezonach przekraczała 2200 osób [16].

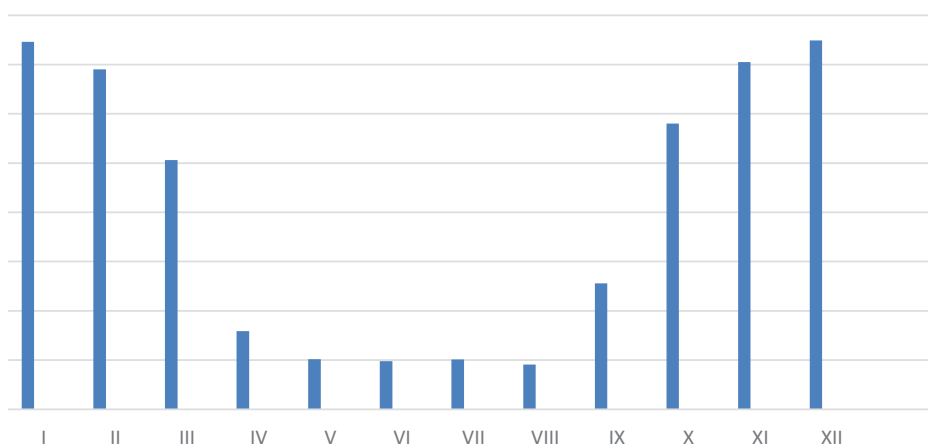


Figure 4. Seasonality of CO poisonings in Poland in 2015 – in months (the National Headquarters of the State Fire Service – KG PSP) [16]
Rycina 4. Sezonowość zatruc tlenkiem węgla w Polsce w 2015 r. – w miesiącach (KG PSP) [16]

In our study for the 2015/16 and 2016/17 heating seasons (assuming that the season covers the period from the beginning of September until the end of March), the numbers of victims of events involving carbon monoxide were 25 (including 4 deaths) (2015/16) and 18 (including 3 deaths) (2016/17). The numbers of injuries and deaths in the discussed period are included in the State Fire Service statistics for the whole country. PSP prepares its statistics on the basis of its dispatches and information obtained from EMS and MAR teams, as well as hospitals.

Smoke restricts visibility in a fire, makes breathing difficult, carries toxic compounds and increases egress time. The scale of risk associated with smoke is evidenced in the statistics – burns are responsible only for 25% of all deaths, as many as 51% of deaths are caused solely by the toxic combustion and decomposition products, and 23% of deaths result from exposure to both smoke and fire and secondary trauma. When a fire breaks out in a living space, it consumes numerous items made of plastic, which produce not only carbon monoxide, but also dangerous cyanide compounds. The effect of hydrogen cyanide and its derivatives inhibits cytochrome oxidase, preventing the cells from absorbing oxygen. The data contained in the statistics suggest that if there is a severe fire, then the people present inside are

W badaniach własnych w sezonie grzewczym 2015/16 i 2016/17 (przyjmując za sezon grzewczy okres od początku września do końca marca) liczba osób poszkodowanych w zdarzeniach związanych z tlenkiem węgla wynosiła odpowiednio 2015/16 – 25 osób (w tym 4 osoby zgon), i 2016/17– 18 osób (w tym 3 osoby zgon). Zarówno liczba osób poszkodowanych, jak i ofiar śmiertelnych z omawianego okresu badań własnych wchodzi w skład statystyk PSP dla całego kraju. PSP do w/w statystyk uzyskuje informacje zarówno ze swoich wyjazdów, jak również ZRM i LPR, oraz leczenia szpitalnego.

Dym podczas pożaru zmniejsza widoczność, utrudnia oddychanie, zawiera toksyczne składniki i wydłuża czas ewakuacji. O skali zagrożenia, jakie stanowi, świadczą statystyki: w wyniku poparzeń w pożarach ginie tylko 25% wszystkich ofiar, aż 51% zgonów spowodowanych jest działaniem wyłącznie toksycznych produktów spalania i rozkładu, a 23% osób umiera z powodu działania zarówno dymu, jak i ognia oraz urazów wtórnych. Podczas pożarów w pomieszczeniach mieszkalnych znajduje się dużo przedmiotów z tworzyw sztucznych. Te paląc się, wydzielają nie tylko tlenek węgla, ale równie groźne związki cyjanowe. Działanie kwasu cyjanowodorowego i jego pochodnych hamuje układ enzymatyczny oksydazy cytochromowej, przez co uniemożliwia wykorzystanie tlenu przez komórki. Dane zawarte w statystykach ozna-

more likely to die from inhalation poisoning than from the direct impact of temperature [20, 21].

In addition, carbon monoxide inhalation causes muscle contractions which prevent the still-conscious person from leaving the room [22].

czają że jeśli wystąpi poważny pożar, to znajdujące się w środku osoby najprawdopodobniej zginą poprzez zatrucie wziewne, a nie z powodu bezpośredniego działania temperatury [20, 21].

Dodatkowo pod wpływem tlenku węgla następuje miotonię (skurcz mięśni), która uniemożliwia przytomnej świadomej jeszcze osobie wydostanie się z pomieszczenia [22].

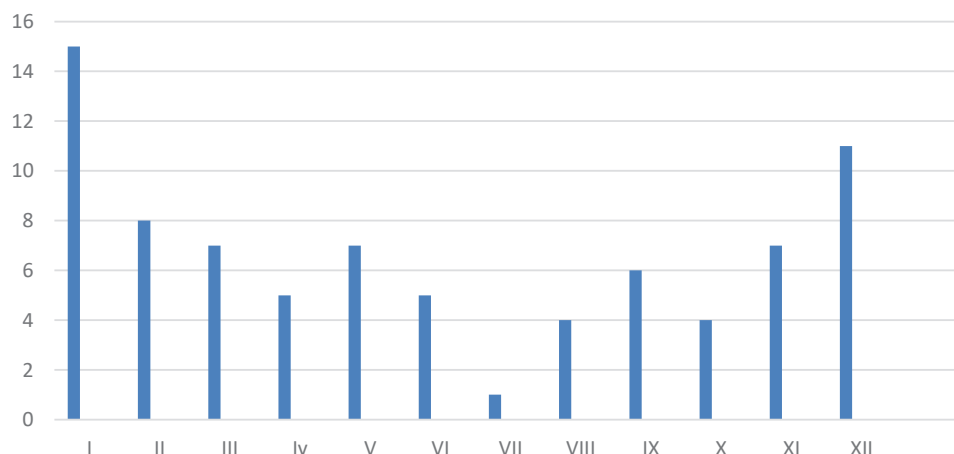


Figure 5. The distribution of events per months in 2015–2017 (from the operating area of the Emergency Medical Services Station in Łuków)

Rycina 5. Rozkład zdarzeń z podziałem na miesiące w 2015–2017 (z rejonu operacyjnego Stacji Ratownictwa Medycznego w Łukowie)

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

The analysed material contains 12 cases connected with fires in flats, houses or business premises, which occurred when people were inside. Three cases ended in the death of the person being inside and 9 events (involving 11 people) ended in inhalation poisoning or burns. These patients were taken to hospital and most of them were admitted to the nearest ED. Some patients required treatment in a specialised toxicology treatment centre or in a hyperbaric chamber. Oxygen therapy combined with the elevated pressure in the chamber accelerates the process of eliminating carbon monoxide from the body [23, 24].

The studied material contained 18 cases of deaths of victims at the event site (Table 6), which constitute 20% of all victims. The causes of death could not be established at the EMS intervention stage, so it is difficult to confirm the statistics cited in the literature pointing that 51% of deaths in fires are caused by poisoning due to exposure to toxic combustion products [25]. EMS teams carry out a general examination of the body, which is not sufficient to determine the cause of death [26]. Autopsy reports were not included in the analysed material.

W analizowanym materiale wystąpiło 12 przypadków związanych z pożarem mieszkania, domu lub lokalu użytkowego, w którym podczas pożaru znajdowały się osoby. Trzy przypadki zakończyły się zgonem osoby będącej wewnątrz, a 9 zdarzeń (w tym 11 osób) zakończyło się zatruciem wziewnym lub poparzeniem. Osoby te zostały przetransportowane do szpitala, większość na najbliższy SOR. Część osób wymagała leczenia w ośrodku specjalistycznym toksykologicznym bądź w komorze hiperbarycznej. Tlenoterapia przy zwiększonym ciśnieniu panującym w komorze przyspiesza czas eliminacji tlenku węgla z organizmu [23, 24].

W badanym materiale wystąpiło 18 przypadków zgonów osób poszkodowanych w miejscu wezwania (tabela. 6), które stanowią 20% wszystkich poszkodowanych. Przyczyny zgonów nie były możliwe do określenia na etapie ZRM, dlatego trudno potwierdzić dostępne w literaturze statystyki wskazujące 51% ofiar pożarów umierających wskutek zatrucia toksycznymi produktami spalania [25]. ZRM w miejscu wezwania dokonuje ogólnych oględzin ciała, na podstawie których nie jest możliwa do ustalenia przyczyna zgonu [26]. W analizowanym materiale nie udostępniono wyników sekcji zwłok.

Conclusions

1. Most incidents related to inhalation poisoning in the Łuków County occur in rural areas.
2. Carbon monoxide is the most common cause of inhalation-related incidents.

Wnioski

1. W powiecie łukowskim większość zdarzeń związanych z zatruciami wziewnymi występuje na terenach wiejskich.
2. Większość zdarzeń związanych z zatruciami wziewnymi powodowana jest przez tlenek węgla.

3. The age group with the most exposure to inhalation poisonings in the operating area of SRM Łuków is 40–60 years (45%).
4. Most inhalation poisoning events involve men (65%).
5. Any person present during a fire may suffer from carbon monoxide poisoning.
6. The distance between the event site and the emergency medical services station is a factor determining the successful implementation of medical procedures and affecting prognosis in cases of more acute poisoning.
7. The distance between the event site and the emergency medical services station has no significant effect on prognosis in cases of light exposure where the victim managed to avoid exposure by himself/herself and the worrying symptoms occurred after several hours.
8. In the case of large employers – due to the procedures, instructions, escape routes and protection measures in place, cases of inhalation poisoning are rare in relation to the number of potentially affected people.
9. The heating season is not a significant factor increasing the number of inhalation poisonings.

3. Najbardziej narażona na zatrucia wziewne grupa wiekowa w rejonie działania SRM Łuków mieści się w przedziale 40–60 lat (45%).
4. Na zatrucie wziewne bardziej narażeni są mężczyźni (65%).
5. Każdy uczestnik pożaru jest potencjalnie narażony na zatrucie tlenkiem węgla.
6. Odległość miejsca zdarzenia od miejsca stacjonowania służb ratowniczych ma wpływ na wdrożenie procedur medycznych i dalsze rokowania dla poszkodowanego w przypadku cięższych zatruc.
7. Odległość miejsca zdarzenia od miejsca stacjonowania służb ratowniczych nie ma większego wpływu na dalsze rokowania dla poszkodowanych w przypadku lekkich ekspozycji, gdzie poszkodowany sam przerwał ekspozycję, a objawy niepokojące pojawiły się po kilku, kilkunastu godzinach.
8. W dużych zakładach pracy – ze względu na procedury postępowania, instrukcje, drogi ewakuacyjne i zabezpieczenia – liczba zatruc wziewnych jest niewielka w stosunku do liczby potencjalnie zagrożonych osób.
9. Okres grzewczy nie wpływa znacząco na wzrost zatruc wziewnych.

Abbreviations

AFA	– advanced first aid
ALS	– advanced life support
AR	– admission room
BLS	– basic life support
CH	– chest
CNS	– central nervous system
CO	– carbon monoxide
CO ₂	– carbon dioxide
CTH	– Children's Teaching Hospital
ECC	– Emergency Communications Centre
ED	– Hospital Emergency Department
ED Ł.	– the Hospital Emergency Department in Łuków at the SP ZOZ
EMS	– Emergency Medical Services
EMS team	– Emergency Medical Services Team
KG PSP	– the National Headquarters of the State Fire Service
KZW	– dispatch order form
left	– patient left at the site
MAR	– Medical Air Rescue
MER	– medical emergency report
NFRS	– the National Firefighting and Rescue System
MEA	– medical emergency actions
MSWiA	– Ministry of the Interior and Administration
ND	– no data
NEMS	– National Emergency Medical Services
NFZ	– National Health Fund
NPL	– after hours medical centre
P1	– basic dispatch team (rescue)
PPM	– parts per million
S1	– specialised dispatch team (with a physician)

Wykaz skrótów

ALS	– advanced life support (ang. zaawansowane zabiegi ratunkowe- przyrządowe)
B.D.	– brak danych
BLS	– basic life support (ang. podstawowe zabiegi ratunkowe – bez przyrządowe)
CO	– tlenek węgla
CO ₂	– dwutlenek węgla
CPR	– Centrum Powiadamiania Ratunkowego
DSK	– dziecięcy szpital kliniczny
IP	– izba przyjęć
KG PSP	– Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej
KLP	– klatka piersiowa
KMCR	– karta medycznych czynności ratunkowych
KPP	– kwalifikowana pierwsza pomoc
KSRG	– krajowy system ratowniczo gaśniczy
KZW	– karta zalecenia wyjazdu
LPR	– Lotnicze Pogotowie Ratunkowe
MSWiA	– Ministerstwo Spraw Wewnętrznych i Administracji
MCR	– medyczne czynności ratunkowe
NFZ	– Narodowy Fundusz Zdrowia
NPL	– Nocna pomoc lekarska
NZK	– nagłe zatrzymanie krążenia
OUN	– ośrodkowy układ nerwowy
R.Ż.	– rok życia
SRM	– Stacja Ratownictwa Medycznego
SOR	– Szpitalny oddział ratunkowy
SOR Ł.	– szpitalny oddział ratunkowy w Łukowie przy SP ZOZ
S1	– zespół wyjazdowy specjalistyczny (lekarski)
RM	– Ratownictwo Medyczne

SCA – sudden cardiac arrest
 SP ZOZ – Independent Public Healthcare Unit
 SRM – Emergency Medical Services Station
 y.o. – years old

P1 – Zespół wyjazdowy podstawowy (ratowniczy)
 Pozost. – pozostawiony/a w miejscu wezwania
 PPM – (ang. parts per million) cząstek na milion
 PRM – państwowe ratownictwo medyczne
 SP ZOZ – samodzielny publiczny zakład opieki zdrowotnej
 ZRM – Zespół Ratownictwa Medycznego

Literature / Literatura

- [1] Dane otwarte Główny Urząd Statystyczny: www.stat.gov.pl [2.2018].
- [2] Nadlewska A., Ładny J. R., Wojewódzka-Żeleznikowicz M. i in., *Trucizny – definicja, rodzaje, mechanizm działania*, „Postępy Nauk Medycznych” 2010, 9, 704–708.
- [3] Oparczyk G., Koniecznyński J., *Tlenek węgla w pomieszczeniach jako efekt eksploatacji kuchni gazowych, Problemy jakości powietrza we wnętrzu w Polsce 2001*, Wydawnictwa Instytutu Ogrzewnictwa i Wentylacji Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2002, 251–258.
- [4] Wojewódzka-Żeleznikowicz M., Czaban S. L., Poniatowski B., Ładny J. R., *Zatrucia – epidemiologia, diagnostyka i leczenie w oddziale ratunkowym*, „Postępy Nauk Medycznych” 2009, 6, 480–484.
- [5] Trzos A., *Zabezpieczenie medyczne imprez masowych*, Kraków 2001.
- [6] Mackway Jones K., Marsden J., Windle J., *Triage, Ratunkowa segregacja medyczna*, Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2012.
- [7] Slavica V., Dubravko B., Milan J., *Acute organophosphate poisoning: 17 years of experience of the National Poison Control Center in Serbia*, „Toxicology”, 2018, 409, 73–79.
- [8] Buciński A., Kaliszan R., *Właściwości fizykochemiczne substancji leczniczych o znaczeniu biofarmaceutycznym – rozpuszczalność, lipo-filność i współczynnik dyfuzji*, w: *Biofarmacja*, M. Sznitowska, R. Kaliszan (red.), Elsevier Urban & Partner, Wrocław 2014.
- [9] M., Kaliszan R., *Biofarmacja*, Elsevier Urban&Partner, Wrocław 2013, 33–59. Cał K., Stefanowska J., *Metody zwiększania przenikania substancji leczniczych przez skórę*, „Farmacja Polska” 2010, 66(7), 514–520.
- [10] Kapka-Skrzypczak L., Cyranka M., Kulpa P., Skrzypczak M., Wojtyła A., *Dopalacze – stan aktualny i wytyczne na przyszłość*, „Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu” 2011, 17(4), 206–211.
- [11] Okulicz-Kozaryn K., Borucka A., Kocień K., *Przyjmowanie leków psychoaktywnych a używanie innych substancji odurzających przez młodzież*, „Alkoholizm i Narkomania” 2006, 19(1), 35–52.
- [12] GUS:12.2016, *Powierzchnia i demografia powiatu łukowskiego* [2.2018].
- [13] www.polskawliczbach.pl/lukow [2.2018].
- [14] Ustawa z dn. 8 września 2006 r. o Państwowym Ratownictwie Medycznym (Dz. U. 2006.191.1410) isap.sejm.gov.pl.
- [15] Sohn Y.H., *Carbon Monoxide poisoning*, „Encyclopedia of Movement Disorders” 2010, 321–329.
- [16] KG PSP – Tlenek węgla zbiera tragiczne żniwo, Aktualności www.straz.gov.pl [3.2018].
- [17] Witryna internetowa MSWiA, www.mswia.gov.pl [3.2018].
- [18] Klepacka M., Sholokhova D., Bakalarski P., Kupiński K., Leszczyński P.K., *The profession of a paramedic as a new specialty in the health care system – a prospective assessment of social awareness*, „Critical Care Innovations” 2018, 1(2), 11–19.
- [19] Klepacka M., Bakalarski P., *Trust of society towards selected medical professions – doctors, nurses, paramedics*, „Critical Care Innovations” 2018, 1(2), 1–10.
- [20] Alarie Y., *Toxicity of fire smoke. Critical reviews in toxicology* 2002, 32(4), 259–289.
- [21] Annane D., Chadda K., Gajdos P. i in., *Hyperbaric oxygen therapy for acute domestic carbon monoxide poisoning: two randomized controlled trials*, „Intensive Care Medicine” 2011, 37, 486–492.
- [22] Baud F.J., *Cyanide: critical issues in diagnosis and treatment*, „Human & Experimental Toxicology” 2007, 191.
- [23] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Carbon Monoxide Exposures-United States, 2000–2009, Morb Mortal Wkly Rep (MMWR) 2011, 60(30), 1014–1017.
- [24] Norkool D. M., *Treatment of acute carbon monoxide poisoning with hyperbaric oxygen*, „Annals of Emergency Medicine”, Volume 14, Issue 12.
- [25] Karta charakterystyki nr 0032 – Tlenek węgla. Wersja 7.0., CIOP-PIB, Warszawa 2007.
- [26] Krawczyk A., Bednarek M., Vażanić D., *Deadly dozen – „scoop and run” or „stay and play” in thoracic trauma?*, „Critical Care Innovations” 2019, 2(1), 22–26.

ŁUKASZ DUDZIŃSKI, M.A. – an officer of the State Fire Service, he serves in District Headquarters of the State Fire Service in Lublin. He is a medical rescue instructor and a medical rescue worker in the Independent Public Health Care Institution in Łuków.

PIOTR KONRAD LESZCZYŃSKI, PH.D. – assistant professor at Nursing and Medical Rescue Department at Siedlce University of Natural Sciences and Humanities.

MGR ŁUKASZ DUDZIŃSKI – funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej, pełni służbę w Komendzie Miejskiej PSP w Lublinie. Jest instruktorem ratownictwa medycznego oraz ratownikiem medycznym w Samodzielnym Publicznym Zakładzie Opieki Zdrowotnej w Łukowie.

DR PIOTR KONRAD LESZCZYŃSKI – adiunkt w Zakładzie Pielęgniarstwa i Ratownictwa Medycznego na Uniwersytecie Przyrodniczo-Humanistycznym w Siedlcach.

senior brig. Jan Krynicki, Ph.D^{a)} *

^{a)} National Chaplain to firefighters / Kapelan Krajowy Strażaków

* Autor korespondencyjny / Corresponding author: parafia@bl-karolina.eu

The Ethos of St. Florian's knights

Etos rycerzy św. Floriana

ABSTRACT

Objective: The presentation of preliminary considerations on the ethos of the profession of firefighter.

Background: In addition to appropriate procedures and standards, the competences of persons who create an institution are an essential element of their good functioning. In the context of the profession of firefighter, which serves an important social mission, axiological competences, which properly condition the effectiveness of all other competences, are taking on particular significance. The shaping of the ethos of duty, which determines its model and aspirations, is their source and point of reference. One should note the important place of valorisation of the ethos of firefighter among the most important factors which build the potential of this profession.

The correlation between work and living in accordance with the moral rules of individuals and professional groups is determined by the term "ethos". This notion became especially important during the dynamic development of knighthood. It became, in a sense, a synonym for a set of moral concepts, attitudes and behaviour. It highlights the unconditional devotion to the undertaken obligations. Ethos is something more than adopting a specific attitude which is highly regarded in moral terms. It approximates something which can be regarded as typical morals of an individual and even more closely resembles the social norm constituting an indicator of average moral behaviour of the members of the group in specific historical circumstances. The level of firefighter's ethos, therefore, ultimately reflects the level of average moral behaviour of individual representatives of this service. Professional ethos is never shaped over a short period of time. It is often created slowly, with specific effort, by entire generations. One can indicate here an incredibly strong interrelation. Members of a given professional group not only establish the ethos, they are moulded by it into morally adult people through their work and lifestyle. Only by actually becoming involved in the implementation of ethos can one build a model lifestyle, which invariably, in the case of the profession of firefighter, is based on inner strength, courage, sacrifice and professional competence.

Conclusions: The effective pursuit of the profession of firefighter must have its axiological foundation. Therefore, shaping the ethos of the knights of St. Florian should be regarded as an important element of the theory and pragmatics of this profession.

Keywords: ethos, firefighter, morality, ideal, values, duty

Received: 20.08.2018; Reviewed: 29.08.2018; Accepted: 28.06.2019;

Author's ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5597-8423>;

Please cite as: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 188–196, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.12>;

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

ABSTRAKT

Cel: Zaprezentowanie wstępnych rozważań nad etosem zawodu strażaka.

Wprowadzenie: Obok właściwych procedur i standardów, zasadniczym elementem dobrego funkcjonowania wszelkich instytucji pozostają kompetencje tworzących je osób. W kontekście profesji strażaka, będącej ważną misją społeczną, szczególnej wagi nabierają kompetencje aksjologiczne, warunkujące właściwie efektywność wszelkich innych. Za ich źródło i punkt odniesienia uznać trzeba kształtowanie etosu służby, określającego jej model i aspiracje. Wśród najważniejszych czynników budujących potencjał zawodu strażaka należy dostrzec też istotne miejsce dla waloryzacji etosu tej służby.

Korelacja pracy zawodowej z życiem w zgodzie z zasadami moralnymi jednostek i grup zawodowych odnajduje swój wyznacznik w terminie „etos”. Pojęcie to nabrało szczególnego znaczenia w czasach rozwoju rycerstwa. Stało się poniekąd synonimem zbioru moralnych idei, postaw i zachowań. Podkreśla ono bezwzględną wierność podjętym zobowiązaniom. Etos jest czymś więcej niż przyjęciem określonej, co więcej moralnie wysoko ocenianej postawy. Zbliża się on do czegoś, co można określić typową obyczajowością jednostki, a jeszcze bardziej do normy społecznej stanowiącej wskaźnik przeciętnego postępowania moralnego członków grupy w określonych warunkach dziejowych. Poziom etosu strażaka odzwierciedla więc ostatecznie poziom przeciętnego moralnego postępowania poszczególnych adeptów tej służby. Etos zawodowy nie powstaje nigdy na przestrzeni krótkiego okresu. Nierzadko tworzą go powoli, z określonym wysiłkiem, całe pokolenia. Można w tym miejscu mówić o niezwykle silnej relacji zwrotnej. Nie tylko etos konstytuowany jest przez członków danej grupy zawodowej. Także sami członkowie tej grupy poprzez swoją pracę czy styl życia, są przez niego

kształtowani na dojrzałe moralnie osoby. Dopiero dzięki rzeczywistemu zaangażowaniu się w realizację etosu buduje się wzorcowy styl życia, niezmiennie w przypadku zawodu strażaka, oparty na: sile ducha, męstwie, poświęceniu oraz zawodowej kompetencji.

Wnioski: Efektywne realizowanie zawodu strażaka musi mieć swoją podbudowę aksjologiczną. Kształtowanie etosu rycerzy św. Floriana uznać należy więc za ważny element teorii i pragmatyki tego zawodu.

Słowa kluczowe: etos, strażak, moralność, ideał, wartości, służba

Przyjęty: 20.08.2018; **Zrecenzowany:** 29.08.2018; **Zatwierdzony:** 28.06.2019;

Identyfikator ORCID autora: <https://orcid.org/0000-0002-5597-8423>;

Proszę cytować: SFT Vol. 53 Issue 1, 2019, pp. 188–196, <https://doi.org/10.12845/sft.53.1.2019.12>;

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

Background

Even the most effective procedures, standards and structures will not ensure good functioning of institutions created by people if they are not implemented by individuals competent in various dimensions. The “moral space”, shaped by individuals and whole societies, is one of the fundamental elements constituting “human resources”. Having assumed that axiological competences are necessary or even the most important in the shaping of appropriate professional predispositions, this thesis should be applied even more strongly to the profession in which one can refer to calling, due to its importance. Firefighting is surely such a profession, which is marked by the moral context in innumerable areas. It is impossible to imagine a professional firefighter devoid of appropriate moral competences. The title of this article references the notion of knights of St. Florian, which has a long tradition. This patron saint of firefighters, a Roman legionary who lived in the early 4th century could not accept being the witness of the suffering of Christians, fellow believers, and went to Lauriacum (now Lorch in Austria) to help them. There, he was captured and drowned in the Enns after refusing to bow to Roman gods, on 4 May 304. Had Florian not interfered in the affairs of Christians, had he not revealed his faith, he would have avoided a martyr’s death. He made a different choice, however, as he gave his life for the religion and his brothers in faith. A parallel can be drawn between St. Florian and the firefighter, who departs to partake in operations and makes a decision to help other people risking his/her health and often life. When firefighting brigades started to form in the second half of the 19th century in the Polish part of Galicia, they adopted the symbol to be presented on their banners from Austrian firefighters. From this point in time, Polish firefighters started to be called ‘St. Florian’s knights’ or, in short, Florians. The aim of this article is to outline the ethos of the knights of St. Florian, the shaping of which appears as an important factor in the effectiveness of professional and volunteer firefighters.

Wprowadzenie

Nawet najbardziej efektywne procedury, standardy, struktury nie zapewnią dobrego funkcjonowania tworzonych przez ludzi instytucji, jeśli nie będą wdrażane przez osoby kompetentne, i to w różnych wymiarach. Jednym z zasadniczych elementów konstytuujących „zasoby ludzkie” jest kształtowana przez poszczególne jednostki i całe społeczeństwa „przestrzeń moralna”. Uznając kompetencje aksjologiczne za niezbędne, a nawet najważniejsze w kształtowaniu właściwych predyspozycji zawodowych, stwierdzenie to należy odnieść z jeszcze większym przekonaniem do profesji, w której odwołujemy się do powołania, ze względu na jej rangę. Taką właśnie jest bez wątpienia zawód strażaka, który ewidentnie nacechowany jest, w niezliczonych obszarach, kontekstem moralnym. Nie sposób wyobrazić sobie profesjonalnego strażaka pozbawionego właściwych moralnych kompetencji. W tytule artykułu pojawia się odniesienie do mającego długoletnią tradycję określenia rycerzy św. Floriana. Ten święty patron strażaków, legionista rzymski, żyjący na początku IV wieku, nie mógł pogodzić się z tym, że chrześcijanie, jego współwyznawcy, cierpią, i dlatego udał się do miasta Lauriacum (obecnie Lorch w Austrii), aby im pomóc. Tam został schwytany, a gdy odmówił złożenia pokłonu rzymskim bogom, utopiono go w rzece Enns, 4 maja 304 roku. Gdyby Florian nie ingerował w sprawy chrześcijan, nie ujawnił swojej wiary, uniknąłby męczeńskiej śmierci. Dokonał jednak innego wyboru – oddał życie za religię i swoich braci. Można zauważyć w tym miejscu paralelę do strażaka, który jako rycerz św. Floriana, wyjeżdżając do akcji i podejmując decyzję o pomaganiu innym ludziom, naraża zdrowie, a nierzadko i życie. Kiedy w drugiej połowie XIX wieku w polskiej części Galicji formowały się stráže, przejęły one wzór symbolu na sztandary od strażaków austriackich. Odtąd właśnie strażaków polskich zaczęto nazywać rycerzami św. Floriana lub krótko florianami. Celem artykułu jest zarysowanie kwestii etosu rycerzy św. Floriana, którego kształtowanie jawi się jako ważny czynnik efektywności zawodowej i ochotniczej służby pożarnej.

The concept of professional ethos

The correlation between work and living in accordance with the moral principles of individuals and professional groups is found in “ethos”. This notion proved to be especially important during the dynamic development of knighthood. It became, in a sense, a synonym for a set of moral concepts, attitudes and behaviour. It highlights the unconditional devotion to the undertaken obligations. [1]. This field is so extensive that it is difficult to hold discourse on this issue. When referring to the definition of ethos, it is possible to attempt to formulate its constituents. Given the existential and moral context, the ethos of profession of firefighter is fulfilled in the function and duties towards the society of this service.

In contrast to the broader and often used concept of “ethics”, the term “ethos” is not used only to describe the activities of individuals. As a rule, ethos refers to social and professional groups, although it obviously translates into the life of individuals and must determine them to some extent. It is impossible to talk about the ethos of a profession, also of a firefighter, if it was not applied by the greatest possible number of individuals included in the group [2]. Individual ethos, in synthetic terms, first and foremost consists in duplicating the traits characteristic of the ethos of a given social group. Ethos is the adopted and pursued lifestyle of a given community and its preferred hierarchy of values, which is formulated directly or can be inferred from human behaviour [3].

S. Witek rightly differentiates the understanding of ethos as the expression of real possibilities from ideal trends in behaviour of individual people performing specific work [4]. Despite this, in the second meaning he sees the whole point of shaping and realising ethos. Therefore, ethos means that which is ideal and exemplary in relation to a given social or professional group. It includes the standards and values, as well as the entirety of interpersonal relations as well as those between employees. Ethos is also associated with an appropriate attitude, personality and clear moral attitude. Differing from the usually adopted customs and paradigms, even those acknowledged by most people, ethos transcends the sphere of mediocrity, general approval and the rule of minimising requirements. Importantly, ethos is much more than just adopting a specific, highly regarded in moral terms, attitude. As opposed to attitude, its full manifestation occurs when, strongly rooted in a community, it becomes a sort of monolith which cannot be uprooted. Ethos implements a conventionally adopted system of moral standards, as an attempt at interpreting moral natural law and in consequence of a hierarchy of values adopted in a specific group. It approximates something which can be regarded as typical morals of an individual and, even more closely, resembles the social norm constituting an indicator of average moral behaviour of the members of the group in specific historical circumstances. The level of firefighter’s ethos, therefore, ultimately reflects the level of average moral behaviour of individual representatives of the fire service. Thus, it either increases or decreases according to the hierarchies of values adopted by them and applied while on and off duty [5].

Pojęcie etosu zawodowego

Korelacja pracy zawodowej z życiem w zgodzie z zasadami moralnymi jednostek i grup zawodowych odnajduje swój wyznacznik w terminie „etos”. Pojęcie to nabiera szczególnego znaczenia w czasach rozwoju rycerstwa. Stało się poniekąd synonimem zbioru moralnych idei, postaw i zachowań. Pojęcie to podkreśla bezwzględną wierność podjętym zobowiązaniom. [1]. Przestrzeń ta jest tak szeroka, że prowadzenie dyskursu w tej kwestii jest utrudnione. Odnosząc się do definicji etosu, można jednak próbować formułować konstytuujące go elementy. Ze względu na kontekst egzystencjalno-moralny etos zawodu strażaka jest realizowany w ramach tej służby zadań oraz funkcji względem społeczeństwa.

W odróżnieniu od szerszego i często stosowanego pojęcia „etyka”, określenia „etos” nie stosuje się jedynie do opisu działań poszczególnych jednostek. Etos z zasady odnosi się do grup społecznych i zawodowych, choć w oczywisty sposób posiada przełożenie na życie poszczególnych jednostek i musi je w jakimś stopniu warunkować. Nie sposób mówić o etosie zawodu, również i strażaka, jeśli nie byłby realizowany przez możliwie największą liczbę jednostek go współtworzących [2]. Etos indywidualny, syntetycznie rzecz ujmując, w pierwszym rzędzie polega na powielaniu cech właściwych dla etosu określonej grupy społecznej. Etos to przyjęty, ale i realizowany styl życia danej społeczności, preferowana przez nią hierarchia wartości, formułowana wprost lub dająca się wywnioskować z ludzkich zachowań [3].

S. Witek słusznie rozgranicza rozumienie etosu jako wyrazu realnych możliwości od idealnych tendencji postępowania poszczególnych ludzi realizujących określoną pracę [4]. Mimo to w tym drugim znaczeniu widzi pełny sens kształtowania i realizowania etosu. Etos oznacza więc przede wszystkim to, co idealne, wzorcowe w odniesieniu do danej grupy społecznej lub zawodowej. Zawierają się w nim normy i wartości, a także całokształt stosunków międzyludzkich i relacji pomiędzy pracownikami. Z etosem wiąże się również odpowiednie usposobienie, właściwy charakter, jednoznaczna postawa moralna. Odbiegając od zazwyczaj przyjmowanych zwyczajów i paradygmatów, nawet tych uznanych przez większość, etos przekracza sferę przeciętności, ogólnej aprobaty i kierowania się zasadą minimalizacji wymagań. Co ważne, etos jest czymś znacznie więcej niż jedynie przyjęciem określonej, i to nawet moralnie wysoko ocenianej postawy. W odróżnieniu od postawy uwidacznia się w pełni dopiero wówczas, gdy silnie zakorzeniony w społeczności, staje się czymś w rodzaj monolitu nie do naruszenia. Etos realizuje przyjęty konwencjonalnie układ norm moralnych, będąc próbą interpretacji moralnego prawa naturalnego i konsekwencją przyjętej w określonej grupie społecznej hierarchii wartości. Zbliża się on do czegoś, co można określić typową obyczajowością jednostki, a jeszcze bardziej do normy społecznej stanowiącej wskaźnik przeciętnego postępowania moralnego członków grupy w określonych warunkach dziejowych. Poziom etosu strażaka odzwierciedla więc ostatecznie poziom przeciętnego moralnego postępowania poszczególnych adeptów tej służby. Rośnie więc albo maleje, adekwatnie do przyjmowanych i realizowanych przez nich w trakcie służby, a także i poza nią hierarchii wartości [5].

Ethos is obviously very closely correlated with conscience and it is difficult to properly discuss it if one would want to ignore its role in shaping the moral life of man. What is important, ethos may differ from customs and moral standards which evoke moral obligations in the conscience of individuals. A crucial element here is the duplication of traits characteristic of the ethos of a specific social group under distinct historical and cultural conditions. It is worth noting that the term "ethos" should not be used, even though it sometimes is, in a clearly negative moral sense, as when speaking about the "ethos" of thieves. Since the role of ethos is to form moral perfection of man, especially in relation to professional life, it needs to be based on objective values and should refer to them. The appearance, functioning and survival of ethos, even despite the strong variability of its secondary characteristics, is possible thanks to the constant needs of man and the social framework and forms of their implementation [5].

What is equally important, ethos should not be identified with attitudes imposed by a specific social or political authority and regarded by it as the only right ones. Ethos usually emerges naturally and is accepted by individuals as part of a complex socialisation process [6]. Ethos must not be identified with short-term and revolutionary activities which have been imposed from the top. It should be understood as a set of specific behaviours and values, generally accepted and regarded as positive, rooted in a given community for a longer period of time. True ethos, also professional one, is never shaped over a short period of time. Often, entire generations are needed to establish it, creating it slowly and with the necessary effort. The presence of a very strong feedback should be noted in this respect. Indeed, members of a given professional group not only create the ethos, but by implementing it they are, to some extent, moulded by it into fully morally mature individuals through their work and lifestyle. One should not forget, however, the often fundamental difference between the normative rules constituting various obligations and behaviours or rules actually considered and effected in a given community. This situation results in understandable dissonance between the often lofty ethos and the not always edifying practice of everyday, also professional, life. One can consider it a kind of space in which, through appropriate formation, ethos is formed at the level of individuals and broader communities.

From the perspective of reflection inspired by the Catholic faith it is worth referring in this context to the Evangelical Sermon on the Mount (Matthew 5:1-12), which captures the essence of Christian ethos. This is not a postulate of some structural or revolutionary transformation of the society, economy and politics, but a call for personal reformation of man and following the steps of Christ in a given social context [7]. The issue of the measure of moral capacity of man should be regarded as an important element determining the crux of Christian ethics. After all, it is difficult not to notice that contesting ethical principles and standards is often associated with the conviction that they are too demanding, inadequate, for example, to the human moral condition. Even if one were to agree with such a train of thought, since the ethical ideal almost always exceeds

Etos w oczywisty sposób bardzo ściśle skorelowany jest z sumieniem i trudno właściwie o nim mówić, jeśli chciałoby się jego rolę w kształtowaniu życia moralnego człowieka pominąć. Etos może także różnić się, co ważne, od zwyczaju i norm moralnych, które wywołują powinność moralną w sumieniu poszczególnych ludzi. Zasadniczym elementem jest tu powielanie przez niego cech właściwych dla etosu określonej grupy społecznej w konkretnych warunkach historyczno-kulturowych. Warto przy tym podkreślić, iż nie należy używać terminu „etos” (choć czasem tak się czyni) w sensie moralnie wyraźnie negatywnym, jak wtedy, gdy mówi się np. o „etosie” złodzieja. Skoro rolą etosu jest formowanie moralnej doskonałości człowieka, zwłaszcza w odniesieniu do życia zawodowego, to musi on bazować na wartościach obiektywnych i do nich się powinien odwoływać. Zaistnienie, funkcjonowanie, a przede wszystkim przetrwanie etosu, nawet mimo silnej zmienności jego cech drugorzędnych, możliwe jest dzięki stałym potrzebom człowieka oraz społecznym ramom i formom ich realizacji [5].

Etosu nie należy, co równie istotne, utożsamiać z poglądami czy też postawami narzucanymi przez określoną władzę społeczną czy polityczną, uznanymi przez nie za jedyne słuszne. Etos powstaje zazwyczaj w sposób naturalny i przyjmowany jest przez jednostki w ramach skomplikowanego procesu socjalizacji [6]. Etosu nie można też utożsamiać z doraźnymi i mającymi rewolucyjny charakter działaniami, narzuconymi odgórnie. Przez etos rozumieć trzeba bowiem zbiór określonych zachowań i wartości, ogólnie akceptowanych i uznawanych za pozytywne, utrwalanych w danej społeczności przez dłuższy czas. Rzeczywisty etos, także zawodowy, nie powstaje nigdy na przestrzeni krótkiego okresu. Nierzadko do jego stworzenia potrzebne są całe pokolenia, konstytuujące go powoli, z odpowiednim wysiłkiem. Należy zwrócić uwagę na istnienie w tym zakresie niezwykle silnej reakcji zwrotnej. Nie tylko bowiem etos tworzony jest przez członków danej grupy zawodowej, ale i oni niejako, realizując etos, poprzez swoją pracę czy styl życia, są przez niego kształtowani na w pełni dojrzałe moralnie osoby. Nie wolno oczywiście pomijać tego, iż istnieje często zasadnicza różnica pomiędzy kategorią normatywnych reguł stanowiących różne powinności a zachowaniami czy regułami faktycznie uwzględnianymi i realizowanymi w danej społeczności. Sytuacja ta rodzi zrozumiały dysonans pomiędzy stawianym etosem a nie zawsze szczególnie budującą praktyką codziennego życia, w tym zawodowego. Można tu mówić o swoistej przestrzeni, w ramach której, poprzez właściwie prowadzoną formację, na poziomie jednostek i szerszych społeczności, kształtuje się etos.

Z punktu widzenia refleksji inspirowanej religią katolicką warto również, i w tym kontekście, odnieść się do ewangelicznego Kazania na Górze (Mt 5, 1-12), które odsłania treść etosu chrześcijańskiego. Nie mamy tu do czynienia z postulatem jakiegoś strukturalnego czy rewolucyjnego przekształcenia społeczeństwa, gospodarki i polityki, lecz domaganiem się przede wszystkim osobistego nawrócenia człowieka oraz naśladowania Chrystusa w danym kontekście społecznym [7]. Za istotny element wyznaczający samo sedno etyki chrześcijańskiej uznać trzeba kwestię miary moralnych możliwości człowieka. Trudno przecież nie zauważyć że, kontestacja zasad i norm etycznych często wiąże się właśnie z przekonaniem, iż są one zbyt wymagające, nieadekwatne choćby do poziomu ludzkiej kondycji moralnej. Nawet jeśli jednak zgodzić się z takim tokiem

its practical implementation, it should not lead to a conclusion that this ideal is inadequate to man or even harmful [8]. As life experience dictates, every activity can be performed better or worse and produce various results; it is, however, the effort made which strives to reach a specific ideal or model, and this is usually only partly possible.

The dynamic nature of ethos

As justly noted by A. MacIntyre, an important contemporary philosopher, every man is an ethicist, as long as he reflects on his own and other people's behaviour [9]. Rationality, which characterises every human being, is connected with the ability or even obligation to contemplate on the moral standards one accepts as well as, and more importantly, on the choices made in respect of morality, especially those demonstrating human weakness. As accurately indicated by W. Granat, the notions of sin and grace, by lending tremendous moral strength to human existence, contributed to European culture being characterised by the greatest dynamism for centuries [10]. One of these elements which distinguishes or actually makes man radically different from other beings is the multifaceted striving for perfection. Man is the kind of being which, if fully exercising its rationality and willpower, is never completely satisfied with itself. This is because man is aware of his personal development being virtually limitless. This striving for perfection characterises mainly morality which constitutes the central element of human personality. Professional life, which in contemporary times appears to create a living environment alternative to the family environment, is invariably a factor which creates a crucial framework for human morality. One would find it difficult not to notice that professional work, often being the most important reference point for many individuals, also appears to set the foundations of their moral perfection or lack thereof.

The development of human skills is always based on subjective potentials which are to some extent modified and dynamised by the objective ideal. The ideal alone, however, devoid of an internal foundation, can easily evolve towards dramatic tyranny of expectations with no possibility to meet them. Because of the temptation of minimalism and mediocrity, the potential of man striving for ideal cannot be fully realised. A life led in accordance with moral principles can be likened to a sort of "art" based on interaction between the ideal and capabilities. Man shapes himself on the basis of who he is, what he knows about himself and what he can do with that knowledge. The frequent doubts as to the possibility of realising the moral ideal, which can be observed today, have their origin mostly in the domination of pessimistic anthropology, which focuses on human weaknesses and searching for motives to justify them. This anthropology, often detached from God, largely marginalises in practice the possibility of overcoming human limits in respect of personal development and improvement. Along with the decreasing influence of Christian optimistic anthropology,

rozumowania, (wreszcie ideał etyczny niemal zawsze przewyższa poziom jego realizacji w praktyce), to nie powinno to prowadzić do wniosku, iż ideał ten miałby być nieadekwatny dla człowieka czy też nawet szkodliwy [8]. Wprawdzie, zgodnie z życiowym doświadczeniem, każdą czynność można realizować gorzej lub lepiej czy też osiągać w czymś różne wyniki, to jednak podejmowanemu wysiłkowi przyswieca dążenie do pewnego ideału bądź wzoru, który przeważnie jedynie częściowo zostaje zrealizowany.

Dynamiczny charakter etosu

Jak słusznie zauważa jeden z ważnych współczesnych filozofów A. MacIntyre, każdy człowiek jest etykiem, o ile tylko zastanawia się nad swoim i cudzym postępowaniem [9]. Z charakteryzującą każdy byt ludzki racjonalnością wiąże się zdolność, a właściwie powinność refleksji, zarówno nad akceptowanymi przez siebie normami moralnymi, jak i co ważniejsze, nad dokonywanymi wyborami w obszarze moralności, zwłaszcza tymi uwidaczniającymi ludzką słabość. Jak trafnie zauważył W. Granat, pojęcia grzechu i łaski, dając wielką siłę moralną egzystencji ludzkości, przyczyniły się do tego, że to właśnie kultura europejska przez całe wieki odznaczała się największym dynamizmem [10]. Jednym z tych elementów, który wyróżnia człowieka spośród innych bytów, a właściwie radykalnie go od nich odróżnia, jest bowiem jego wieloaspektowe dążenie do doskonałości. Człowiek jest bytem, który jeśli w pełni korzysta ze swojej racjonalności i potęgi swojej woli, nigdy nie jest w pełni z siebie zadowolony. Zdaje sobie bowiem sprawę, że jego osobowy rozwój właściwie nie zna kresu czy ograniczeń. To dążenie do perfekcji charakteryzuje przede wszystkim moralność, stanowiącą centralny element ludzkiej osobowości. Czynnikiem, który tworzy niezwykle istotne ramy dla ludzkiej moralności jest niezmiennie życie zawodowe, które w warunkach współczesności zdaje się tworzyć alternatywne względem rodzinnego środowisko życia. Trudno nie zauważyć, iż praca zawodowa, nierzadko stanowiąc najważniejszy punkt odniesienia dla wielu jednostek, zdaje się też wytaczać zręby jego moralnej doskonałości bądź też jej braku.

Rzeczywistość ludzkich umiejętności dokonuje się zawsze na bazie subiektywnych potencjałów, które są niejako modyfikowane i dynamizowane obiektywnym ideałem. Sam jednak ideał, pozbawiony wewnętrznej bazy, łatwo może ewoluować w kierunku dramatycznej tyranii oczekiwań bez możliwości ich spełnienia. Przez pokusę minimalizmu i przeciętności potencjał człowieka niedążącego do ideału, nie może być w pełni wykorzystany. Życie zgodne z zasadami moralnymi utożsamić można ze swoją „sztuką”, opartą na interakcji pomiędzy ideałem a możliwościami. Człowiek tworzy siebie w oparciu o to, kim jest, co wie o sobie, i co potrafi z tą wiedzą zrobić. Częste dziś wątpliwości w możliwość realizacji ideału moralnego swoją genezę znajduje przeważnie w dominacji pesymistycznej antropologii, skupiającej się na słabościach człowieka i szukaniu motywów dla ich usprawiedliwienia. Antropologia ta, często oderwana od Boga, w dużej mierze marginalizuje w praktyce możliwość przekraczania ludzkich ograniczeń w perspektywie rozwoju osoby i jej doskonalenia. Wraz ze zmniejszaniem się wpływu chrześcijańskiej, optymistycznej antropologii, coraz częściej w sferze moralności pojawiają się rozwiązania, które odrzucają

the sphere of morality more and more often witnesses solutions which reject effort, relativising the truth and good and absolutising the freedom of the individual. As a consequence, man becomes a being which negates objective morality and resigns from effort to strive for perfection. Lack of faith in man's moral capabilities and reducing him to a being which is almost incapable of self-control, condemned to the dictate of somatic or social conditions, translates into a decline of the moral level of entire societies.

The measure of man's moral capabilities is primarily associated with the level of his spirituality and harmonious development of the faculties of the mind, will and the emotional system. The symptoms of the disintegration of correct relations between these factors result in the disruption of the inside, and thus in the weakening of its ability to evaluate, select, make good and avoid wrong [11]. Therefore, one must not agree to have man embroiled in his various weakness, doubt in the power of spirit, and discard motivation for pursuing self-transcendence. This would mean consent to ethical minimalism, depreciation of human morality and negation of ethical progress achieved by subsequent generations, which draw inspiration, first and foremost, from the moral ideals and directing the potential of a human being towards development and not towards degradation.

Conclusions

Reflection on ethos becomes evident in particular in respect of selected professional groups which enjoy the highest respect and trust: clergymen, scientists, teachers, doctors, journalists and uniformed services, including firefighters. Despite the reflection on the ethics of specific professions recently becoming immensely popular, it does not always assume the form of deeper discourse. The majority of texts on this subject are journalistic or even slogan in nature and include elements of social engineering or political language. Considerable danger in this regard can be noted not only in respect of ethos, but also the intent of those who want to introduce it. The issue of presenting ethos must be closely correlated with the high ethical level of people who want to create it. Dissonance in this regard threatens ethos itself, even if it appears to verbally refer to loft and indubitably morally positive values. Attaching significance to ethos in everyday activities should be deemed necessary, since the lack of cohesion between the canon of proposed behaviours and the actual conduct of people, especially those responsible for creating the ethos, may compromise the chances of its formation [12].

The first attempts at developing and implementing "precepts", as ethical rules were referred to at that time, which should apply to people in uniformed services, were made as early as in the Second Polish Republic. Nevertheless, attempts made in the inter-war period at introducing ethical standards which were to result in a normative document that, once popularised, could become part of ethical knowledge of members of this professional circle, were not successful. However, even the plans of developing ethical standards which would apply

wysiłek, relatywizując przy tym prawdę i dobro oraz absolutyzując wolność jednostki. Człowiek staje się w konsekwencji tej sytuacji istotą negującą obiektywną moralność i rezygnującą z wysiłku dążenia do doskonałości. Brak wiary w moralne możliwości człowieka, redukcja go do istoty niezdolnej niemal do panowania nad sobą, skazanej na dyktat uwarunkowań somatycznych czy społecznych, przekłada się na obniżanie się moralnego poziomu całych społeczeństw.

Miara możliwości moralnych człowieka związana jest przede wszystkim z poziomem jego duchowości oraz harmonijnym rozwojem władz rozumu, woli i systemu emocjonalno-uczuciowego. Symptomy dezintegracji prawidłowych relacji pomiędzy tymi czynnikami skutkują rozbięciem osobowego wnętrza, a więc i osłabieniem jego zdolności wartościowania, wybierania, czynienia dobra i unikania zła [11]. Nie można więc zgodzić się na uwikłanie człowieka w jego różne słabości, zwątpić w moc ducha, przekreślić motywację do przekraczania siebie. Oznaczałoby to zgodę na minimalizm etyczny, deprecjację ludzkiej moralności, a także zaniegowanie etycznego postępu kolejnych pokoleń, który inspirowany był przede wszystkim ideałami moralnymi oraz ukierunkowaniem potencjału osoby na rozwój a nie na jej degradację.

Wnioski

Refleksja nad etosem uwidacznia się przede wszystkim w odniesieniu do wybranych grup zawodowych, powszechnie cieszących się najwyższym szacunkiem i zaufaniem: kapłanów, naukowców, nauczycieli, lekarzy, dziennikarzy oraz przedstawicieli służb mundurowych, do których zaliczyć można i strażaków. Pomimo tego, iż refleksja dotycząca etyki wykonywania danego zawodu stała się w ostatnich latach niezwykle popularna, to nie zawsze ma ona wymiar pogłębionego dyskursu. Przeważają tu raczej teksty o charakterze publicystycznym, a nawet sloganowym z elementami socjotechniki czy języka politycznego. Spore niebezpieczeństwo w tej kwestii dostrzec można nie tylko w odniesieniu do etosu, ale i intencji tych, którzy starają się go wprowadzać. Problem przedstawiania etosu musi być ściśle skorelowany z wysokim poziomem etycznym ludzi starających się go kreować. Dysonans w tej kwestii zagraża samemu etosowi, nawet wtedy jeśli zdaje się on werbalnie odwoływać do wzniosłych i moralnie bezsprzecznie pozytywnych wartości. Za konieczne uznać należy przywiązywanie wagi do etosu w codziennych działaniach, gdyż brak spójności pomiędzy kanonem proponowanych zachowań a realnym postępowaniem osób, zwłaszcza odpowiedzialnych za jego kreowanie, może przekreślić szanse na ukształtowanie takiego etosu [12].

Pierwsze próby opracowania i wdrożenia w życie „prawideł”, jak wówczas nazywano zasady etyczne, które winny obowiązywać funkcjonariuszy służb mundurowych, czyniono już w okresie Drugiej Rzeczypospolitej. Tego typu norm etycznych, mających stworzyć dokument normatywny, który stałby się po upowszechnieniu, częścią etycznej wiedzy ludzi z tego kręgu zawodowego, nie udało się jednak wprowadzić w okresie międzywojennym. Już jednak same plany opracowania norm etycznych, które obowią-

to the officers of uniformed services prove that, as seen by the then heads of these formations, they constituted an important element of work regulations and a necessary addition to rules of procedure, ordinances and orders. These plans were hindered by the outbreak of World War 2. After the war ended, all attempts at devising ethical principles for the members of the uniformed services to follow were so strongly imbued with Marxist ideology that they could not, despite some attempts at formulating them, serve their role. The issue of developing a document which would include the specific rules and ethical standards could resurface only in the new, post-1989, social and political reality [13].

Determining the firefighter's ethos in the early 21st century in respect of formulating moral standards can be based on the perfectionist and solidarity-based spirit. Within the former approach, it is assumed that moral evaluation is made in relation to a certain standard, a perfect model. The solidarity-based direction, on the other hand, entails evaluating the morality of behaviour based on whether it exerts a just impact on the welfare of others [14]. It is easy to note that the solidarity-based and perfectionist depictions of morality in respect of formulating the rules of the professional ethics of St. Florian's knights are by no means disjunctive; on the contrary, they are largely interconnected and complement each other. The analysis of the functions which professional ethics is to serve allows one to state that it is primarily intended to promote an appropriate level of performance of a given profession, to strengthen the sense of professional duty and, at the same time, to inspire public trust in this profession. The former falls within the perfectionist direction of morality, while the latter leans towards the solidarity-based one. Moral standards can, therefore, be presented as directives for behaviour depicted in the form of dictates or prohibitions formulated on the basis of duties towards others and the perfect exemplar. Since ethics involves the studying of morality and its systematics, the author finds it justified to perceive the rules of professional ethics as a form of concretisation and, to some extent, modification of the general morality of a given profession [15]. In both these fields, one can search for the appropriate space for the shaping of the firefighter's ethos.

Searching for the right order in the reality in which we function is an invariable duty of every generation, also in the case of the profession of firefighter. When reconsigning this necessity one should not forget that this task will never be truly complete, i.e. crowned with the ultimate and unquestioned moral formula which does not evolve further, also as regards professional ethos. Every new generation of the firefighting community faces the obligation to make its own contribution, which would take into account new circumstances as well as the existential and technical specificity, to determining a convincing ethos of this profession. It is in the interest of every, also this, very specific, community, to care about developing its own standards, normative points of reference which will be passed on to younger generations. The firefighter's ethos, understood as forming models for this profession, without any doubt foster the development of the personalities of members of this profession. The importance

zywałyby funkcjonariuszy służb mundurowych, świadczą o tym, iż w ocenie ówczesnych dowódców tych formacji, stanowiły one ważny element pragmatyki służbowej, niezbędny, obok regulaminów, zarządzeń i rozkazów. Plany te zakłócił przede wszystkim wybuch II wojny światowej. Po jej zakończeniu z kolei, wszelkie próby opracowania zasad etycznych, którymi mieliby kierować się funkcjonariusze różnych służb mundurowych, były tak silnie przeniknięte ideologią marksistowską, iż nie mogły, mimo pewnych prób ich formułowania, spełnić swojej roli. Sprawa opracowania dokumentu zawierającego określone zasady i normy etyczne mogła zaistnieć na nowo dopiero w nowej rzeczywistości społeczno-politycznej i gospodarczej po 1989 roku [13].

Określanie etosu strażaka na początku XXI wieku, w odniesieniu do formułowania norm moralnych, może być oparte na nurcie perfekcjonistycznym i solidarnościowym. W ramach pierwszego ujęcia przyjmuje się, że oceny moralnej dokonuje się w odniesieniu do pewnego wzorca, doskonałego modelu. Nurt solidarnościowy zakłada zaś raczej ocenę postępowania jako moralnego na podstawie tego, czy wpływa ono sprawiedliwie na dobro innych ludzi [14]. Nietrudno zauważyć, że solidarnościowe i perfekcjonistyczne ujęcie moralności w odniesieniu do formułowania zasad etyki zawodowej rycerzy św. Floriana nie są w żadnym wypadku rozłączne, przeciwnie – w dużym stopniu się zazębiają i uzupełniają. Analiza funkcji, jakie stawia się etyce zawodowej, pozwala stwierdzić, że ma ona przede wszystkim sprzyjać odpowiedniemu poziomowi wykonywania danego zawodu, wzmacniać poczucie obowiązku zawodowego, a zarazem wzbudzać zaufanie społeczeństwa do przedstawicieli tego zawodu. Pierwsza z tych funkcji pozostaje w obrębie nurtu perfekcjonistycznego moralności, druga zaś związana jest w większym stopniu z nurtem solidarnościowym. Normy moralne można więc określić jako ujęte w postaci nakazów lub zakazów dyrektywy postępowania formułowane na podstawie powinności względem innych i względem idealnego wzorca. Skoro etyka zajmuje się badaniem i systematyką moralności, to uprawnione jest zdaniem autora upatrywanie w zasadach etyki zawodowej formy konkretyzacji oraz w pewnym stopniu modyfikacji ogólnej moralności w ramach określonego zawodu [15]. Na obydwu tych polach szukać można właściwej przestrzeni dla kształtowania etosu strażaka.

Poszukiwanie odpowiedniego ładu w rzeczywistości, w której funkcjonujemy, stanowi niezmiennie zadanie każdego kolejnego pokolenia, również w przypadku profesji strażaka. Dostrzegając tę konieczność, nie można przy tym zapomnieć, iż zadanie to nie zostanie tak naprawdę nigdy zakończone, to znaczy zwieńczone ostateczną, niekwestionowaną i niepodlegającą ewolucji formułą moralną, również w odniesieniu do etosu zawodowego. Przed każdym nowym pokoleniem społeczności strażackiej staje powinność wniesienia swojego wkładu, uwzględniającego aktualne okoliczności oraz specyfikę egzystencjalną i techniczną, w ustalenie przekonującego etosu tego zawodu. W interesie każdej społeczności, również i tej, tak specyficznej, leży troska o wypracowanie własnych norm, normatywnych punktów orientacyjnych, które przekazane zostaną następnym pokoleniom. Etos strażaka, rozumiany jako stawianie pozytywnych wzorców w tym zawodzie, bez żadnych wątpliwości sprzyja formowaniu osobowości przedstawicieli tej profesji. Nie należy też pomijać roli ukazywania wzorców negatyw-

of demonstrating negative models should not be disregarded as well, since it makes it possible to resolutely condemn any inappropriate forms of collective conduct [5].

When addressing the issue of the deontology of the profession of firefighter, it is worth noting that, in every epoch, especially given the rapidly changing and highly varied external conditions, people face the enormous challenge of shaping an ethos which would meet the new social needs and expectations. According to the author, one of the leading premises when formulating this ethos is to move away from 'morality of pressure' towards individual responsibility for one's choices. It is difficult not to notice that the impact of external determinants on human moral decisions is decreasing, even if some do not want to come to terms with this fact. Nowadays, moral life is shaped first and foremost in the context of the personal decisions of individuals. This has its positive implications, as it can obviously improve the moral self-awareness of individuals, and in this case, of those in fire service. At the same time, however, building such an ethos is also associated with a certain level of risk, since it assumes the belief that all firefighters, or at least a significant proportion of them, will be able to make a considerable intellectual and moral effort to follow it. In this context, it is, therefore, worth noting that life ethos is not necessarily an area of human freedom, opposed to heteronomous morality, but is rather a task faced by every individual who is aware of it. This ethos, as a proposal, is faced by specific moral subjects who can strive to shape an adult ethical personality, a model of their existence. For this reason, only by actually becoming involved in the implementation of ethos can one shape and recreate a morally appropriate or even exemplary lifestyle, which invariably, in the case of the profession of firefighter, is based on inner strength, courage, commitment, and professional competence.

The fundamental element of every ethos, defining in a way both its nature and practical meaning, is the formative element associated with it. In order for this educational character of ethos to be fully realised, an individual from a specific social group must be presented by the ethos with an unambiguously positive and clearly defined model of behaviour. This, obviously, does not entail that the ethos becomes "fossilised" or "frozen", failing to recognise external determinants. The firefighter's ethos can change under external living conditions and cultural aspirations of a group, but, in principle, is also characterised by certain constancy due to fairly invariable, fundamental inspirations. In such professional groups as the fire service, one can note, first and foremost, a constant reference to the same duties assigned to them, despite the drastically changing working methods. Irrespective of whether the firefighter's ethos is being realised by means of technically unsophisticated 19th century conditions or with advanced 21st century technologies, it is always guided by the protection of the same values: human life, health and property.

nych, gdyż dzięki ich ukazaniu istnieje możliwość zdecydowanego napiętnowania niewłaściwych form postępowania zbiorowego [5].

Podejmując tematykę deontologii zawodu strażaka należy również zauważyć, iż ludzie w każdej epoce, zwłaszcza w kontekście dziś tak szybko zmieniających się i niezwykle zróżnicowanych uwarunkowań zewnętrznych, stają przed ogromnym wyzwaniem kształtowania takiego etosu, który byłby w stanie sprostać nowym potrzebom i oczekiwaniom społecznym. Za jedną z wiodących przesłanek przy jego formułowaniu uznać trzeba, zdaniem autora, odchodzenie od moralności nacisku w kierunku indywidualnej odpowiedzialności za dokonywane wybory. Trudno nie zauważyć, iż wciąż zmniejsza się, nawet jeśli nie wszyscy chcą się z tym pogodzić, wpływ determinantów zewnętrznych na ludzkie decyzje o charakterze moralnym. Współcześnie kształtowanie życia moralnego dokonuje się przede wszystkim w kontekście osobistych decyzji poszczególnych jednostek. Posiada to swoje pozytywne implikacje, gdyż w oczywisty sposób może zwiększać samoświadomość moralną jednostek, w tym przypadku tych, które realizują służbę strażaka. Budowanie takiego etosu wiąże się jednak także z pewnym poziomem ryzyka, gdyż zakłada on wiarę w to, iż wszyscy strażacy, a przynajmniej ich znaczna część, podejmowania poważanego wysiłku intelektualnego oraz moralnego w tym kierunku. Warto więc w tym kontekście zauważyć, iż etos życiowy nie tyle stanowi obszar ludzkiej wolności, przeciwstawnej moralności heteronomicznej, ile jest dzisiaj zadaniem stojącym przed każdym, kto jest tego świadomy. Etos ten, jako propozycja, stoi przed konkretnymi podmiotami moralnymi, mogącymi dążyć do kształtowania dojrzałej osobowości etycznej, modelu swojej egzystencji. Z tego więc względu, dopiero dzięki rzeczywistemu zaangażowaniu się w realizację etosu, kształtuje się oraz odtwarza właściwy moralnie, a nawet wzorcowy styl życia, niezmiennie w przypadku zawodu strażaka oparty na: sile ducha, męstwie, poświęceniu oraz zawodowej kompetencji.

Zasadniczym elementem każdego etosu, określającym niejako zarówno jego charakter, jak i praktyczne znaczenie, jest związany z nim element formacyjny. Aby ten wychowawczy charakter etosu mógł się w pełni zrealizować, etos ten musi ukazywać jednostce przynależnej do określonej grupy społecznej jednoznacznie pozytywny, jasno określony wzorec postępowania. Nie chodzi przy tym o pewno rodzaju „skostnienie” czy „zastygnięcie” etosu nieuwzględniające determinantów zewnętrznych. Etos strażaka może zmieniać się pod wpływem zewnętrznych warunków życia i dążeń kulturowych grupy, ale odznacza się też z zasady pewną stałością z racji mało zmiennych zasadniczych inspiracji. W ramach takiej grupy zawodowej jak strażacy dostrzec można przede wszystkim niezmiennie odniesienie do tych samych zadań im stawianych, pomimo diametralnie zmieniających się metod pracy. Bez względu na to bowiem, czy etos strażaka realizuje się w prymitywnych technicznie uwarunkowaniach XIX wieku, czy też zaawansowanej technologii XXI wieku, zawsze zakłada on ochronę tych samych wartości: ludzkiego życia, zdrowia i mienia.

Literature / Literatura

- [1] Czarniecki P., *Marii Ossowskiej nauka o moralności*, WSFiZ w Warszawie, Warszawa 2005, s. 125.
- [2] Szawiel T., *Etos*, w: *Encyklopedia socjologii*, t. 1, Warszawa 1998, s. 202–203.
- [3] Etos, w: *Encyklopedia PWN w trzech tomach*, t. 1, PWN, Warszawa 2006, s. 494.
- [4] Witek S., *Etos*, w: *Encyklopedia katolicka*, t. 4, TN KUL, Lublin 1995, kolumna 1195–1196.
- [5] Witek S., *Etos*, w: *Powszechna Encyklopedia Filozofii*, t. 3, Lublin 2002, s. 254–255.
- [6] Lazari-Pawłowska I., *Etyka. Pisma wybrane*, red. P.J. Smoczyński, Ossolineum, Wrocław 1992, s. 84–91.
- [7] Wichrowicz C. J., *Zarys teologii moralnej w ujęciu tomistycznym*, Warszawa 2016, s. 17.
- [8] Olczyk M., *Cnoty teologiczne a miara moralnych możliwości człowieka*, „Teologia i moralność” 2009, 6, s. 101.
- [9] MacIntyre A., *Etyka i polityka*, tł. A. Chmielowski, Wyd. Naukowe PWN SA, Warszawa 2009, s. 18.
- [10] Granat W., *Dogmatyka katolicka*, t. 2, *Bóg Stwórca-Aniołowie-Człowiek*, Lublin 1961, s. 407.
- [11] Wojtyła K., *Osoba i czyn*, Lublin 2000, s. 284–295.
- [12] Gil D., *Etyka funkcjonariusza Służby Więziennej. Czy właściwa postawa funkcjonariusza może oddziaływać programowo na skazanego?*, w: *Zasady etyki zawodowej w służbach mundurowych*, red. P. Józwiak, K. Opaliński, Piła 2013, s. 44.
- [13] Kępa Z., *Zasady etyczne podstawą działania służb mundurowych – rzeczywistość czy życzenie*, w: *Ku etycznym zasadom służb mundurowych*, red. Z. Kępa, A. Szerauc, Płock 2009, s. 50–53.
- [14] Wronkowska S., Ziemiński Z., *Zarys teorii prawa*, Poznań 1997, s. 82–83.
- [15] Ossowska M., *Podstawy nauki o moralności*, Warszawa 1957, s. 352.

SENIOR BRIG. JAN KRYNICKI, PH.D. – the parish priest of the blessed Karolina Kózka Parish in Rzeszów. National Chaplain to firefighters. A graduate of Firefighting College in Kraków.

KS. ST. BRYG. DR JAN KRYNICKI – proboszcz Parafii pw. Błogosławionej Karoliny Kózki w Rzeszowie, krajowy kapelan strażaków, absolwent Szkoły Chorążych Pożarnictwa w Krakowie.

2-4 September 2020, Krakow, Poland



ETCC 2020
EUROPEAN TECHNICAL COATINGS CONGRESS

Coatings' Inspirations

Program > Paints & Coatings
> Adhesives
> Construction Materials
> Graphics

Important dates:

- > Papers submission: **30 January 2020**
- > Notification of abstracts' authors: **30 March 2020**
- > Early registration: **30 June 2020**

Organised by:



Federation of Associations
of Technicians for Industry
of Paints in European Countries



Polish Association
of Chemical Engineers

Congress General Sponsor:

ICHEMAD
P R O F A R B

Congress Partners:



GESELLSCHAFT
DEUTSCHER CHEMIKER



Fachgruppe Lackchemie
in der Gesellschaft
Deutscher Chemiker



Media Partners:

ochrona
przed korozją

przemysł
chemiczny

Topics of papers:

- > Advances in Sciences of Paints & Coatings, Adhesives, Construction Materials, Printing Inks and related products
- > Chemical composition, formulations and products specification
- > Polymers and other raw materials
- > Advances in processing and production
- > Measuring and testing, quality systems
- > Fire protection and corrosion prevention materials
- > Equipment and production lines
- > Application techniques
- > Environment & Safety & Health
- > Products and process legislations

Congress is organized by:

- > FATIPEC – Federation of Associations of Technicians for Industry of Paints in European Countries
www.fatippec.com
- > SITPChem Polish Association of Chemical Engineers
www.sitpchem.org.pl

More information: **www.etcc2020.org**

Why attend?

- > The most prestigious and important technical and scientific event
- > Manufacturing – science – processing meeting point and networking

**Congress venue: Auditorium Maximum
at Jagiellonian University in Krakow, Poland**

sft.cnbop.pl

