

BiP

BEZPIECZEŃSTWO I TECHNIKA POŻARNICZA
SAFETY & FIRE TECHNIQUE

badania i rozwój
research and development

Badanie zagrożenia wystąpienia pożaru ogniw akumulatorów stosowanych w samochodach elektrycznych **s. 108**

**Research
on the Fire Hazards
of Cells in Electric
Car Batteries**
p. 108



Zastosowanie silikonów
w ochronie przeciwpożarowej
s. 10

The Application of Silicones
in Fire Protection
p. 10

Oznaczanie toksyczności
produktów spalania –
przegląd stanu wiedzy **s. 82**

Determination of Toxicity
in Combustion Products –
State of the Art **p. 82**

Kable elektryczne
w kontekście zagrożenia pożarowego
i przepisów ochrony przeciwpożarowej
s. 184

Electric Cables in the Context of Fire
Hazard and Fire Protection Regulations
p. 184

KOMITET REDAKCYJNY / EDITORIAL COMMITTEE

st. bryg. dr inż. Paweł Janik – [Redaktor Naczelny / Editor-in-Chief](#)

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

Redakcja językowa / Language editing:

mgr Katarzyna Szulejewska
mgr Elżbieta Muszyńska-Poleć
AGIT Agnieszka Rydz

Projekt okładki: Arkadiusz Choraży

ISSN 1895-8443

DOI: 10.12845/bitp

© 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

Redakcja/Editorial Office:

ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów k/Otwocka
tel. 22 769 32 20
e-mail: kwartalnik@cnbop.pl
[www: bitp.cnbop.pl](http://www.bitp.cnbop.pl)

Wydawca/Publisher:



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.

Nakład/Circulation: 150 egz.

Skład/Typesetting: BEL Studio Sp. z o.o.
Druk i oprawa/Print and binding: Studio Sense

RADA NAUKOWA / EDITORIAL ADVISORY BOARD

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

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

INDEKSACJA W BAZACH / INDEXING IN DATABASES

Punkty MNISW: 13
Index Copernicus International: ICV 2017: 84.45
EBSCO Publishing
BazTech
RINC
J-Gate
VINITI
Referativnyj Zhurnal
Ulrich's Periodicals Directory
ProQuest

PLATFORMY KSIĘGARSKIE I BIBLIOTEKI /
BOOKSTORE PLATFORMS & LIBRARIES

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

SZANOWNI CZYTELNICY,

Przekazujemy Państwu czwarte wydanie kwartalnika za rok 2018. W bieżącym numerze znajduje się dwanaście oryginalnych artykułów napisanych przez naukowców z Polski oraz zagranicy. Dziesięć prac zostało przetłumaczonych na język angielski w ramach dofinansowania Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Dzięki wsparciu Ministerstwa prace te mają szansę zyskać jeszcze szersze, międzynarodowe grono odbiorców.

W dobie postępu technologicznego oraz rosnącej świadomości ekologicznej coraz większym zainteresowaniem cieszą się samochody elektryczne. Bez wątpienia ich użytkowanie przyczynia się do zmniejszenia problemu zanieczyszczeń środowiska i pomaga w walce ze smogiem. Samochody elektryczne nie emitują tak dużego hałasu jak pojazdy spalinowe, a także są bardziej oszczędne w eksploatacji. Powinniśmy jednak pamiętać, że każda nowa technologia niesie ze sobą także pewne ryzyka, które należy zbadać. W artykule zespołu autorskiego pod kierunkiem doktora Oleksandra Lazarenki opisano problem zagrożenia wystąpienia pożaru ogniw akumulatorów stosowanych w samochodach elektrycznych. Praca opiera się na analizie badań naukowców m.in. z USA i Chin, których wyniki zostały przedstawione w różnych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym, a także w materiałach konferencyjnych o zasięgu krajowym. Artykuł znajdą Państwo w dziale Badania i Rozwój. Serdecznie zapraszamy do lektury tej pracy.

Ostatni kwartał 2018 roku przyniósł w naszej redakcji zmiany – w grudniu powołany został nowy Komitet Redakcyjny. Chcielibyśmy w tym miejscu serdecznie podziękować wszystkim dotychczasowym redaktorom za wkład czasu i pracy na rzecz kwartalnika. Pierwszy numer w 2019 roku zostanie opublikowany w nowej odsłonie. Zapraszamy Państwa do śledzenia naszej strony internetowej bitp.cnbop.pl, na której mogą Państwo zapoznać się z aktualnym zakresem tematycznym periodyku. Wdrażane zmiany to odpowiedź na wyzwania stawiane nowoczesnym czasopismom naukowym oraz potrzebę umiędzynarodowienia wydawnictwa. Mamy nadzieję, że BITP w nowej odsłonie spotka się z pozytywnym przyjęciem w środowisku naukowym.

Zachęcamy do lektury wszystkich artykułów, które znajdują się w bieżącym wydaniu. Zapraszamy również do zgłaszania własnych prac. Aktualną tematykę czasopisma oraz dostęp do systemu elektronicznego zgłaszania artykułów znajdą Państwo na naszej stronie internetowej. Zapraszamy do współpracy.

Komitet Redakcyjny

DEAR READERS,

We have the pleasure to present to you the fourth 2018 issue of our quarterly journal. This issue features twelve original articles by researchers from Poland and abroad. Ten of these papers were translated into English under funding from the Ministry of Science and Higher Education. The Ministry's support has allowed these papers to reach an even wider, international audience.

In this age of rapid technological advancements and growing environmental awareness, electric vehicles are garnering more and more attention. They undoubtedly contribute to reducing the problem of environmental pollution and aiding in the fight against smog. Not only do electric cars emit less noise than petrol-powered vehicles, but they also prove more cost-effective in daily use. At the same time, however, we should not forget that every new technology brings with it certain risks that need to be addressed. In their article, a team of authors led by Dr. Oleksandr Lazarenko look at the fire hazards associated with the cells of car batteries found in electric vehicles. The article does an analysis of US and Chinese research (among others), the results of which were published in a number of locally and internationally recognised journals and conference papers. The article can be found in the "Research and Development" section. We highly recommend that you read this interesting piece.

The last quarter of 2018 brought about some changes to our editorial team, with a new Editorial Board formed in December. Here, we would like to express a sincere 'thank you' to all the authors and editors who have so far contributed their time and effort to our journal. The first 2019 issue of BITP will return in a refreshed format. Please follow our website at bitp.cnbp.pl for updates on most recent topics. The changes we are making have stemmed from the need to respond to the challenges currently faced by scientific journals and confer a more internationalised character to our publishing house. We hope that the new look of BITP will be warmly received by the scientific community.

Please take the time to read all of the articles in this issue. You are also welcome to submit your own articles. Visit our website to browse through current journal topics and access an online article submission system. We look forward to working with you.

Editorial Committee

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ!

Мы рады представить вам четвертый выпуск ежеквартального издания за 2018 год. В этом выпуске мы предлагаем вашему вниманию двенадцать оригинальных статей, написанных учеными из Польши и других стран. Десять работ были переведены на английский язык в рамках финансирования Министерства науки и высшего образования. Благодаря поддержке Министерства, эти работы получили возможность завоевать еще более широкую международную аудиторию.

В эпоху технического прогресса и растущей осведомленности об окружающей среде электромобили становятся все более популярными. Несомненно, их использование способствует уменьшению проблемы загрязнения окружающей среды и помогает в борьбе со смогом. Электромобили не только не издают столько шума, сколько автомобили с двигателями внутреннего сгорания, но и более экономичны в эксплуатации. Однако мы должны помнить, что каждая новая технология также несет в себе некоторые риски, которые следует изучить. В статье авторского коллектива, под руководством доктора Александра Лазаренко, описана проблема пожароопасности аккумуляторных элементов, используемых в электромобилях. Работа основана на анализе исследований ученых из США и Китая, результаты которых были представлены в различных международных научных журналах, а также в материалах национальных конференций. Статью можно найти в отделе исследований и разработок. Мы приглашаем вас прочитать эту работу.

Последний квартал 2018 года принес изменения в нашей редакции – в декабре был назначен новый редакционный комитет. Мы хотели бы поблагодарить всех присутствующих редакторов за вклад времени и работы в ежеквартальное издание. Первый номер 2019 года будет опубликован в новой версии. Мы приглашаем вас посетить наш сайт bitp.cbnp.pl, где вы сможете ознакомиться с актуальной тематикой издания. Внедренные изменения являются ответом на вызовы, поставленные перед современными научными журналами и необходимостью интернационализации издательства. Мы надеемся, что новая версия BITP получит положительный прием в научном сообществе.

Мы рекомендуем вам прочитать все статьи, которые находятся в настоящем выпуске. Мы также приглашаем вас представить свои собственные работы. Актуальную тему журнала и доступ к электронной системе представления собственных статей можно найти на нашем сайте. Приглашаем к сотрудничеству.

Редакционный Совет

SPIS TREŚCI

BADANIA I ROZWÓJ

- 10** Zastosowanie silikonów w ochronie przeciwpożarowej
Maria Zielecka
- 20** Rozpoznanie skażeń w Polsce – aktualny stan wiedzy
Władysław Harmata, Marek Witczak
- 46** Oprogramowanie CrowdSim do modelowania dynamiki pieszych
Mariusz Dobrowolski, Tadeusz Maciak
- 68** Wprowadzenie do budowania odporności poprzez analizę obszarów szczególnie narażonych na występowanie zdarzeń zagrażających bezpieczeństwu społeczności
Robert Piec, Barbara Szykuła-Piec
- 82** Oznaczanie toksyczności produktów spalania – przegląd stanu wiedzy
Rafał Porowski, Zbigniew Kuźnicki, Daniel Małozieć, Anna Dziechciarz
- 100** Normatywna regulacja dyslokacji jednostek pożarniczych na Ukrainie
Boris Aleksandr Pavlovich
- 108** Badanie zagrożenia wystąpienia pożaru ogniw akumulatorów stosowanych w samochodach elektrycznych
Oleksandr Lazarenko, Vasyl Loik, Bohdan Shtain, Dorota Riegert

INŻYNIERIA POŻAROWA

- 118** Ocena wpływu aranżacji garażu na wynik symulacji CFD rozprzestrzeniania się dymu i ciepła
Przemysław Tomasz Suchy, Wojciech Węgrzyński
- 140** Modelowanie CFD wentylacji pożarowej w tunelu drogowym
Rafał Porowski, Paweł Bańkowski, Wojciech Kłapsa, Mariola Starzomska, Artur Więckowski

OCENA ZGODNOŚCI

- 168** Zmiany w zakresie wymagań wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych służących ochronie przeciwpożarowej znakowanych znakiem budowlanym
Marta Iwańska, Katarzyna Jankowska, Agnieszka Kowalczyk
- 184** Kable elektryczne w kontekście zagrożenia pożarowego i przepisów ochrony przeciwpożarowej
Wojciech Kłapsa, Daniel Małozieć, Alina Wolańska

Z PRAKTYKI DLA PRAKTYKI

- 202** Zasady bezpiecznego prowadzenia działań ratowniczych podczas katastrofy budowlanej
Łukasz Pastuszka, Marcin Płotica

RECENZENCI

- 213** Recenzenci 2018

CONTENT / СОДЕРЖАНИЕ

RESEARCH AND DEVELOPMENT / ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ

- 10** The Application of Silicones in Fire Protection / Использование силиконов в противопожарной охране
Maria Zielecka
- 20** Diagnosis of Contamination in Poland – Current State of Knowledge / Распознавание загрязнений в Польше – использование современных разработок
Władysław Harmata, Marek Witczak
- 46** CrowdSim – Pedestrian Dynamics Modeling Software / Программное обеспечение CrowdSim для моделирования пешеходных потоков
Mariusz Dobrowolski, Tadeusz Maciak
- 68** An Introduction to Building Resilience through the Analysis of Areas Particularly Exposed to the Occurrence of Events Threatening the Safety of the Community / Введение в построение резистентности через анализ областей, особенно подверженных возникновению событий, угрожающих безопасности сообщества
Robert Piec, Barbara Szykuła-Piec
- 82** Determination of Toxicity in Combustion Products – State of the Art / Определение токсичности продуктов сгорания – обзор наличия информации
Rafał Porowski, Zbigniew Kuźnicki, Daniel Małozieć, Anna Dziechciarz
- 100** Statutory Regulation of Fire Unit Location in Ukraine / Нормативное регулирование дислокации пожарных подразделений в Украине
Борис Александр Павлович
- 108** Research on the Fire Hazards of Cells in Electric Car Batteries / Исследования пожарной опасности элементов питания аккумуляторных батарей электромобилей
Oleksandr Lazarenko, Vasyl Loik, Bohdan Shtain, Dorota Riegert

FIRE ENGINEERING / ПОЖАРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

- 118** The Influence of the Arrangement of Passenger Cars in Indoor Car Parks on CFD Calculations / Оценка влияния устройства подземного паркинга на результаты CFD-моделирования распространения дыма и тепла
Przemysław Tomasz Suchy, Wojciech Węgrzyński
- 140** CFD Modelling of Fire Ventilation in Road Tunnels / CFD-моделирование пожарной вентиляции в автомобильном тоннеле
Rafał Porowski, Paweł Bańkowski, Wojciech Klapsa, Mariola Starzomska, Artur Więckowski

COMPLIANCE ASSESSMENT / ОЦЕНКА СООТВЕТСТВИЯ

- 168** Changes to the Scope of Requirements for the Placing or Making Available on the Domestic Market of Construction Products Used for Fire Protection Marked with a Construction Mark / Изменения в объеме требований для введения в оборот или размещения на национальном рынке строительных изделий, используемых для противопожарной защиты, отмеченных знаком изделия для строительства
Marta Iwańska, Katarzyna Jankowska, Agnieszka Kowalczyk

- 184** Electric Cables in the Context of Fire Hazard and Fire Protection Regulations / Электрические кабели в контексте угрозы возгорания и правил противопожарной защиты
Wojciech Klapsa, Daniel Małozieć, Alina Wolańska

BEST PRACTICE IN ACTION / С ПРАКТИКИ ДЛЯ ПРАКТИКИ

- 202** Safety Principles for Conducting Rescue Operations in the Case of Structural Failure / Принципы безопасного ведения спасательных работ во время строительной катастрофы
Łukasz Pastuszka, Marcin Płotica

REVIEWERS

- 213** Reviewers 2018

dr hab. Maria Zielecka, prof. CNBOP-PIB^{a)}

^{a)}Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute
Autor korespondencyjny / Corresponding author: mzielecka@cnbop.pl

Zastosowanie silikonów w ochronie przeciwpożarowej

The Application of Silicones in Fire Protection

Использование силиконов в противопожарной охране

ABSTRAKT

Cel: Omówienie możliwości zastosowania w ochronie przeciwpożarowej polimerów silikonowych jako materiałów o unikalnych właściwościach.

Wprowadzenie: Szczególne właściwości polimerów silikonowych związane są z synergią odporności termicznej i właściwości powierzchni, co wynika z budowy chemicznej tych polimerów. W zakresie ochrony przeciwpożarowej przewaga silikonów nad polimerami organicznymi wiąże się głównie z ich dobrą odpornością i izolacją termiczną. Powszechnie wiadomo, że produkty z tworzyw sztucznych stosowane w wyposażeniu wnętrz są często pierwszym łatwopalnym materiałem. Ponadto, w przeciwieństwie do konwencjonalnych materiałów polimerowych gromadzących ładunki elektrostatyczne i stwarzających ryzyko eksplozji, silikon mają bardzo dobre właściwości antystatyczne. Silikony i hybrydowe materiały polimerowe zawierające krzem wyróżniają się wysoką jakością pośród innych materiałów polimerowych, ponieważ oferują najbardziej ekonomiczne rozwiązanie problemów związanych z powlekaniem, uszczelnianiem i ochroną.

Metodologia: Przegląd został przygotowany na podstawie wybranej literatury. Omówiono wpływ budowy chemicznej silikonów na ich właściwości oraz możliwości zastosowań poszczególnych typów silikonów, takich jak silikonowe kauczuki ceramizujące, powłoki termoodporne, uszczelki pęczniące. Szczególne wymagania są stawiane kablom, co jest ściśle związane z wejściem w życie nowej normy PN-EN 50575, w której szczegółowo określono wymagania dla przewodów elektrycznych jako wyrobów budowlanych. Nakłada ona na producentów kabli i przewodów obowiązek dostarczania informacji o klasie produktu, potwierdzonej testami przeprowadzonymi w niezależnym centrum badawczym. Ważnym zagadnieniem jest również prawidłowa ochrona konstrukcji stalowych, które wymagają odpowiednich zabezpieczeń przeciwpożarowych. Obecnie, w tym celu stosuje się farby pęczniące tworzące piankę izolacyjną po ogrzaniu powyżej temperatury krytycznej.

Wnioski: Na podstawie syntetycznego przeglądu dotyczącego zastosowania silikonów w ochronie przeciwpożarowej można stwierdzić, że polimery silikonowe mają bardzo duży potencjał szerszego wprowadzania wszędzie tam, gdzie wymagane są materiały o bardzo dobrej ognio- i termoodporności. Potrzeba sprostania rosnącym wymaganiom prawdopodobnie przyczyni się do dalszego rozszerzania ich zastosowania również w osobistym sprzęcie ochronnym, takim jak hełmy, maski i rękawice itp. używanym przez strażaków podczas akcji ratowniczo-gaśniczych.

Słowa kluczowe: silikon, ochrona przeciwpożarowa, powłoki pęczniące, ceramizujące kauczuki silikonowe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 29.10.2018; Zrecenzowany: 20.11.2018; Zatwierdzony: 20.12.2018;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0002-7690-831X;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 10–18, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.1>;

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

ABSTRACT

Aim: Presentation of the possibilities of using silicone polymers as materials with unique properties in fire protection.

Introduction: In the field of fire protection, the predominance of silicones over organic polymers is mainly related to their good thermal insulation and resistance. It is common knowledge that plastic products used in interior furnishings are often the first to catch fire. Furthermore, in contrast to conventional polymeric materials accumulating electrostatic charges and posing a risk of explosion, silicones have very good antistatic properties. Silicones and silicon-containing hybrid polymeric materials are always located at the top of high performance polymeric materials since they offer the most economic solution to coating, sealing and protection problems.

Methodology: The review was prepared on the basis of selected publications. It discusses the influence of the chemical structure of silicones on their properties and the possibility to apply specific types of silicones, such as silicone ceramics rubbers, heat-resistant coatings, intumescent gaskets. Special requirements are imposed on safe cables. This is closely connected with the entry into force of the new PN-EN 50575 standard, which specifies the requirements for electrical wires as construction products. It imposes on cable and wire manufacturers the obligation to provide information about product class, confirmed by tests carried out in an independent research centre. In recent years, there has been an intense development in the field of coatings and paints used to protect steel structures which do not have fire resistance and require protection by applying appropriate coatings or other

construction solutions to ensure their safety during a fire. Currently, products used for this purpose include intumescent paint which, when heated above a critical temperature, swells to form insulation foam.

Conclusions: Based on the synthetic review focused on the application of silicones in fire protection it can be stated that silicone polymers have a very large potential for wider introduction wherever materials with very good fire resistance and heat resistance are required. The need to meet the growing requirements will probably contribute to the further extension of their use also in personal protective equipment such as helmets, masks and gloves etc. used by firefighters during rescue and firefighting operations.

Keywords: silicones, fire protection, intumescent coatings, ceramisable silicone rubber

Type of article: review article

Received: 29.10.2018; Reviewed: 20.11.2018; Accepted: 20.12.2018;

Author's ORCID ID: 0000-0002-7690-831X;

Please cite as: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 10–18, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.1>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Обсуждение возможности использования силиконовых полимеров в качестве материалов с уникальными свойствами в противопожарной защите.

Введение: Особые свойства силиконовых полимеров связаны с синергизмом термического сопротивления и поверхностных свойств, что обусловлено химической структурой этих полимеров. В области противопожарной защиты преобладание силиконов над органическими полимерами в основном связано с их хорошей стойкостью и теплоизоляцией. Хорошо известно, что пластиковые изделия, используемые для внутренней отделки, часто являются самыми легковоспламеняющимися материалами. Кроме того, в отличие от обычных полимерных материалов, которые накапливают электростатические заряды и создают риск взрыва, силиконы имеют очень хорошие антистатические свойства. Силиконы и гибридные полимерные материалы, содержащие кремний, выделяются среди высококачественных полимерных материалов, поскольку они представляют собой наиболее экономичное решение проблем, связанных с покрытием, герметизацией и защитой изделий.

Методология: Обзор был подготовлен на основе отдельных отчетов, основанных на материалах имеющейся литературы. Обсуждается влияние химической структуры силиконов на их свойства и возможности применения отдельных типов силиконов, таких как силиконовые керамические каучуки, термостойкие покрытия, вспучивающиеся прокладки. Особые требования предъявляются к безопасным кабелям, что тесно связано со вступлением в силу нового стандарта PN-EN 50575, который определяет требования к электрическим проводам в качестве строительных изделий. Стандарт требует, чтобы производители кабелей и проводов предоставляли информацию о классе продукта, подтвержденную испытаниями, проведенными в независимом исследовательском центре. Важным вопросом также является правильная защита стальных конструкций, которые требуют соответствующей противопожарной защиты. В настоящее время для этой цели используются вспучивающиеся краски, которые образуют изолирующую пену после нагревания выше критической температуры.

Выводы: На основании синтетического обзора использования силиконов в противопожарной защите можно сделать вывод, что силиконовые полимеры имеют очень большой потенциал для более широкого применения там, где требуются материалы с очень хорошей огнестойкостью и теплостойкостью. Необходимость удовлетворения растущих требований, вероятно, еще больше расширит их использование также в средствах индивидуальной защиты, таких как шлемы, маски и перчатки и т. д., которые используются пожарными во время спасательных и противопожарных операций.

Ключевые слова: силиконы, огнезащита, вспучивающиеся покрытия, керамика, силиконовые каучуки

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 29.10.2018; Рецензирована: 20.11.2018; Одобрена: 20.12.2018;

Идентификатор ORCID автора: 0000-0002-7690-831X;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 10–18, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.1>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Silikony – czyli syntetyczne polimery krzemoorganiczne – znane są od początku XX wieku. Bardzo dynamiczny rozwój branży chemicznej w aspekcie związków krzemoorganicznych na początku lat 40. ubiegłego wieku był podyktowany przydatnością polimerów silikonowych oraz potrzebą optymalizacji procesów ich opracowywania oraz właściwości [1].

Silikony mają bardzo szerokie zastosowanie, z uwagi na ich właściwości, których nie są w stanie zaoferować polimery organiczne oraz fakt, że zwykle do uzyskania zadawalających rezultatów wystarczy niewielka ilość tego materiału.

Ponadto w ostatnich latach zaobserwowano znaczący postęp związany z silikonami i materiałami polimerowymi zawierającymi

Introduction

Silicones – synthetic organosilicon polymeric materials have been known since the beginning of the 20th century. Very fast and effective development of organosilicon chemistry in the early 1940s arose from the utility of silicone polymers, and the need to optimize their preparation processes and properties [1]. The application of silicones is very wide, due to their properties which cannot be matched by organic polymers, as well as due to the fact that only small amounts of materials are usually required to achieve the desired outcome.

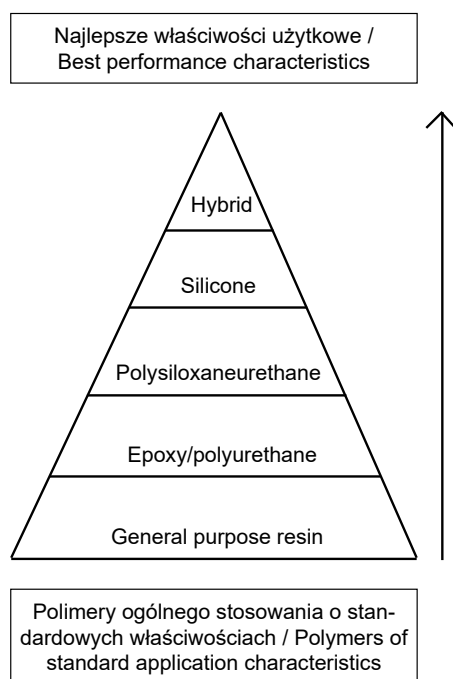
Moreover, in recent years, significant advances in silicones and silicon-containing polymeric materials have been observed, especially in crosslinking methods, the understanding

silikony, szczególnie w zakresie metod sieciowania, zrozumienia zjawiska zwilżania oraz chemii wiązania (lub inaczej sprzęgania). W przemyśle znalazły zastosowanie m.in. nowoczesne filmy samoorganizujące się, samoistnie rozwarstwiające się powłoki, jak również powłoki niezawierające rozpuszczalników, w tym systemy cieczy w stanie nadkrytycznym i powłoki proszkowe. W ostatnich latach opracowano także materiały hybrydowe na bazie silikonów [2]. Takie materiały sprawdzają się w bardzo wymagających warunkach, dzięki czemu możliwe jest ich coraz szersze wykorzystanie. Bardzo dobrym przykładem takich materiałów [3] są silikonowe kauczuki ceramizujące, powszechnie stosowane do produkcji kabli ognioodpornych.

Silikony oraz hybrydowe materiały polimerowe zawierające silikon znajdują się zawsze w górnej części piramidy materiałów polimerowych o wysokich właściwościach użytkowych (patrz ryc. 1.), ponieważ stanowią one najbardziej ekonomiczne rozwiązanie w zakresie powłok, uszczelnienia oraz zabezpieczenia.

of wetting phenomena and chemical bonding/coupling chemistry. New approaches to film formation, such as the development of self-assembling films and self-stratifying coatings, as well new technological solutions in the coating area, such as solvent-free coating technologies, including supercritical fluid systems and powder coatings, have also been developed and paved their way to industrial applications. In recent years, a number of silicones-based hybrid materials have also been developed [2]. These materials meet the requirements of some particularly demanding applications, which allows a significant extension of their use. Silicone ceramifiable rubbers, widely applied for fire resistant cables production [3], provide a very good example of such materials.

Silicones and silicon-containing hybrid polymeric materials are always located at the top of the diagram of high performance polymeric materials (see, Fig 1.) since they offer the most economical solution to coating, sealing and protection problems.



Rycina 1. Schemat materiałów polimerowych o wysokich właściwościach użytkowych

Figure 1. The diagram of high performance polymeric materials

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wyjątkowe właściwości tych materiałów są efektem połączenia odporności termicznej oraz właściwości powierzchniowych.

W zakresie zabezpieczenia przed ogniem przewaga silikonów nad polimerami organicznymi jest związana głównie z ich dobrą odpornością i izolacyjnością termiczną [4]. Powszechnie wiadomo, że wyroby z tworzyw sztucznych używane do produkcji elementów wykończenia wnętrz często zapalają się jako pierwsze [5, 6]. Ponadto, w przeciwieństwie do tradycyjnych materiałów polimerowych gromadzących ładunki elektrostatyczne oraz stwarzających ryzyko eksplozji [7], silikon posiada bardzo dobre właściwości antystatyczne [8].

The unique properties of these materials result from the combination of thermal resistance and surface properties.

In the field of fire protection, the predominance of silicones over organic polymers is mainly related to their good resistance and thermal insulation [4]. It is well known that plastic products used in interior furnishings are often the first ignitable materials [5, 6]. Furthermore, in contrast to conventional polymeric materials accumulating electrostatic charges and posing a risk of explosion [7], silicones have very good anti-static properties [8].

Wpływ budowy chemicznej silikonów na ich właściwości

Wysoka stabilność termiczna silikonów, a także odporność na utlenianie i promieniowanie UV to właściwości wynikające z wyższej stabilności wiązań chemicznych Si-O i Si-C w porównaniu do stabilności wiązania C-C w żywicach organicznych. Miarą tej stabilności jest ciepło tworzenia wiązań chemicznych. Ciepło uwalniane podczas powstawania wiązania Si-O w polisiloksanach wynosi 452 kJ/mol, w porównaniu do 318–352 kJ/mol uwalnianych przez wiązania C-C w żywicach organicznych [9].

Silikonowy charakteryzują się także doskonałą ognioodpornością. Temperatura zapłonu kauczuku silikonowego wynosi 750°C, a temperatura zapalenia 450°C. Należy podkreślić, że spalaniu silikonów nie towarzyszy wydzielanie jakichkolwiek toksycznych lub agresywnych gazów. Dodatkowo emitowana jest bardzo mała ilość dymu [10]. Główne produkty spalania produktów silikonowych to SiO_2 , CO_2 oraz H_2O . Krzemionka (SiO_2) tworzy pył, który posiada doskonałe właściwości dielektryczne i sprawia, że kauczuk silikonowy jest jednym z najbardziej niezawodnych materiałów izolacyjnych. Z tego powodu kable ognioodporne z ochronną otuliną z silikonu są stosowane w tak ważnych sektorach jak budowa statków, samolotów i budynków użyteczności publicznej [11].

Silikonowy cechują się wyjątkową stabilnością termiczną w przypadku nieobecności katalizatorów kwasowych lub zasadowych. Degradacja oleju dimetylosilikonowego rozpoczyna się w temperaturze 350°C. Silikonowy z grupami fenyłowymi wykazują stabilność w wyższych temperaturach, np. 500–600°C, szczególnie, jeśli zawierają specjalny napełniacz jak proszek aluminium lub cynku. Ponadto silikonowy są stabilne w niskich temperaturach sięgających do –60°C, a niektóre ich rodzaje zachowują stabilność nawet w temperaturze do –120°C.

Bardzo istotną cechą silikonów jest niska zależność ich właściwości od temperatury, spowodowana elastycznością łańcucha polisiloksanów, prowadzącą do większej odległości między łańcuchami polimerów i słabszymi siłami międzycząsteczkowymi, w porównaniu do polimerów organicznych. Ta wyjątkowa właściwość znajduje szerokie zastosowanie.

Polimery silikonowe odznaczają się wyjątkowymi właściwościami dielektrycznymi. Z tego względu kauczuk silikonowy, żywice oraz oleje należą do najlepszych dostępnych materiałów izolujących. Również krzemionka, będąca produktem rozkładu termicznego, jest dobrym materiałem izolującym, przydatnym w ratownictwie. W tabeli 1 przedstawiono właściwości termiczne i elektryczne silikonów.

Temperatura ma bardzo ograniczony wpływ na właściwości elektryczne silikonów. Na poniższym wykresie przedstawiono wytrzymałość dielektryczną kauczuku silikonowego oraz kauczków syntetycznych w funkcji temperatury (patrz ryc. 2).

Z kolei na bazie kauczuku silikonowego można opracować mieszanki przewodzące ładunki elektryczne, dzięki dodaniu przewodzących napełniaczy (np. sadzy). Przewodność elektryczna takich kauczków zmienia się zależnie od stosowanego ciśnienia. Taką cechę wykorzystano w czujnikach ciśnienia [12].

Metilosilikonowy są znane z wyjątkowych właściwości hydrofobowych oraz powierzchniowych. Jest to wynikiem obecności

The effect of silicones' chemical structure on their properties

High thermal stability, as well as oxidative and UV resistance of silicones, are consequences of higher stability of Si-O and Si-C chemical bonds as compared to the stability of the C-C bond in organic resins. The measure of this stability is the heat of the chemical bonds formation. The heat of the Si-O bond formation in polysiloxanes is 452 kJ/mol, as compared to 318–352 kJ/mol for C-C bonds in organic resins [9].

Silicones display an excellent flame resistance. Silicone rubber has a flash point of 750°C and an ignition temperature of 450°C. Only very minor amounts of smoke are evolved during the combustion of silicones. It should be underlined that any toxic or aggressive gases are not released during combustion [10]. The main products of silicone combustion include SiO_2 , CO_2 and H_2O . Silica (SiO_2) forms an ash which has excellent dielectric properties and renders silicone rubber one of the most reliable insulating materials. For this reason, fire resistant cables with silicone protective layers are used in such critical sectors as shipbuilding, aircraft construction and public buildings [11].

Silicones, in the absence of acidic or basic catalysts, are exceptionally thermally stable. Degradation of dimethylsilicone fluids begins at 350°C; phenylsilicones are stable to higher temperatures, e.g., 500–600°C, particularly when they contain a special filler such as aluminium or zinc powder. Moreover, silicones are stable at low temperatures up to –60°C, and for special types up to –120°C.

A very important feature of silicones is the low temperature dependence of their properties, due to the polysiloxane chain flexibility, leading to a higher distance between the polymer chains and lower intermolecular forces, as compared to organic polymers. This unique property is widely exploited in several applications.

Silicone polymers have outstanding dielectric properties. Consequently, silicone rubbers, resins and fluids are among the best insulators available. Moreover, silica which is formed as a product of thermal decomposition is also a good insulator and affords emergency operating properties. The thermal and electrical properties of silicones are presented in Table 1.

The effect of temperature on the electric properties of silicones is very limited. The dielectric strength of silicone rubber and synthetic rubbers, as a function of temperature, was compared on a diagram (see Fig. 2).

In contrast, electrically conducting blends can be prepared based on silicone rubber by adding conductive fillers (e.g. carbon black). The electrical conductivity of such rubbers varies in terms of the applied pressure. This property is exploited in pressure sensors [12].

Methylsilicones are known to possess exceptional hydrophobicity and surface properties. This results from the presence of methyl groups in their macromolecule, providing hydrophobic characteristics to the polymer and flexibility of the silicone polymer chain, permitting the rearrangement of the polymer

RESEARCH AND DEVELOPMENT

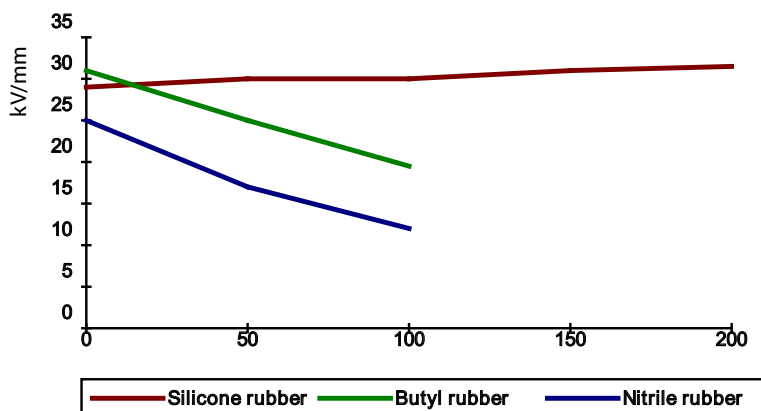
Tabela 1. Właściwości termiczne i elektryczne silikonów

Figure 1. The diagram of high performance polymeric materials

Właściwość /	Kauczuk / Rubber	Żywica (metylofenylowa) / Resin (methylphenyl)	Olej / Fluid
Zakres temperatury stosowania, °C ze stabilizatorami termicznymi / Useful temperature range, °C with thermal stabilizers	-60 do 200 -110 do 250	-60 do 600	-60 do 300
Przewodność cieplna, W/(m x K) / Thermal conductivity, W/(m x K)	1,70–3,40	~1,60	1,40–1,75
Współczynnik rozszerzalności cieplnej, na °C / Coefficient of thermal expansion, per °C	$3,5 \times 10^{-5}$	$1,5 \times 10^{-5}$	
Wytrzymałość dielektryczna, V/μm / Dielectric strength, V/mm	20	60	14
Stała dielektryczna przy 100 Hz / Dielectric constant at 100 Hz	3,50–4,50	3,0	2,76
Współczynnik strat dielektrycznych przy 100 Hz / Dielectric factor at 100 Hz	0,01–0,02	0,01–0,02	0,01–0,02
Rezystywność skośna, Ω × cm / Volume resistivity, W x cm	10^{14} – 10^{15}	10^{14} – 10^{15}	10^{14} – 10^{15}

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 2. Wytrzymałość dielektryczna kauczuku silikonowego i kauczuków syntetycznych w funkcji temperatury

Figure 2. Dielectric strength of silicone rubber and synthetic rubbers as a function of temperature

Źródło: Opracowanie własne.

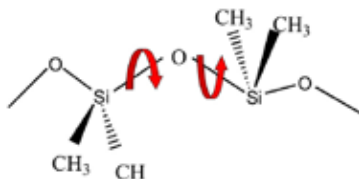
Source: Own elaboration.

w ich makrocząsteczkach grup metylowych, które wykazują właściwości hydrofobowe oraz sprawiają, że łańcuch silikonu polimerowego jest elastyczny. Dzięki temu grupy metylowe przyłączone do łańcucha głównego polimeru mogą się obracać (patrz ryc. 3).

Taka zmiana zapewnia właściwości hydrofobowe, dzięki utworzeniu parasola grup metylowych na chronionej powierzchni.

backbone so that the methyl groups might orient themselves at the interface (see Fig.3).

This rearrangement creates a hydrophobic umbrella, composed of methyl groups, on the protected surface.



Rycina 3. Budowa chemiczna poli(dimetylosiloksanu) (PDMS) ukazująca możliwą rotację grup metylowych

Figure 3. The polydimethylsiloxane (PDMS) structure showing possible rotations

Źródło: Opracowanie własne.

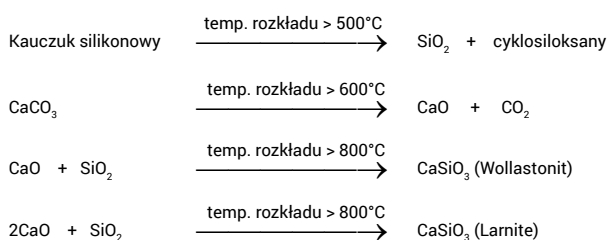
Source: Own elaboration.

Silikonowy kauczuk ceramizujący

Literatura zawiera wiele przykładów dotyczących silikonowych kompozytów ceramizujących zapewniających skuteczną ochronę kabli miedzianych przed wysoką temperaturą lub topnieniem w przypadku pożaru [3, 13, 14]. Zasadniczo powłoka ceramiczna jest porowata, co umożliwia zabezpieczenie miedzianych przewodów przed topnieniem w razie pożaru. Właściwość ta nie zapewnia jednak żadnej ochrony przed wodą z instalacji zraszających. Mikrostruktura warstwy utworzonej w temperaturze od 600 do 1080°C ma znaczący wpływ na izolację kabli narażonych na ogień, co może spowodować jedną z następujących możliwych reakcji:

- rozkład termiczny kauczuku silikonowego,
- spiek i ceramizację napełniaczy nieorganicznych.

Potencjalna reakcja między produktami rozkładu termicznego kauczuku silikonowego oraz napełniaczy nieorganicznych kauczuku silikonowego to bardzo ważny czynnik mający wpływ na niskoporowatą strukturę warstwy zceramizowanej. Podczas rozkładu termicznego kauczuku silikonowego zawierającego kredę [15] występują następujące reakcje:



Krzemian wapniowy powstały podczas rozkładu termicznego, zawierający w przeważającej części włóknisty wollastonit, zapewnia dobre właściwości mechaniczne warstwy zceramizowanej. Z kolei napełniacze zawierające tlenek glinu, szczególnie uwodnione tlenki, wywierają negatywny wpływ na proces rozkładu termicznego kauczuku silikonowego. Grupy hydroksylowe, znajdujące się na powierzchni cząstek tlenku glinu, cechują się negatywnym działaniem katalitycznym na proces rozkładu kauczuku silikonowego. Uwidacznia się to przez znaczący spadek temperatury rozkładu kauczuku [16], który prowadzi do utraty kohezji przez cząsteczki nieorganicznego napełniacza i powoduje utworzenie się kruchej warstwy zceramizowanej o dużej porowatości. Dlatego, aby zapewnić prawidłowy proces ceramizacji, korzystne jest podniesienie temperatury rozkładu kauczuku silikonowego. Stosowanie różnych dodatków krystalicznych może zapewnić prawidłowy rozkład kompozytu oraz jego przemianę podczas ceramizacji. Aby zapewnić optymalne bezpieczeństwo, bardzo ważna jest odpowiednia budowa kabla.

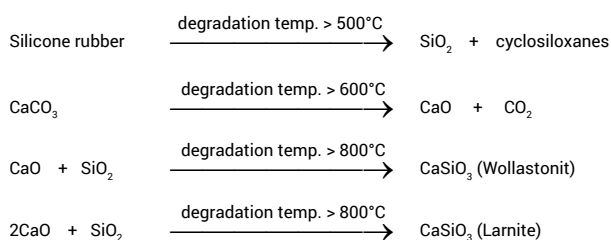
Dodatkowe badania dotyczące silikonowego kauczuku ceramizującego oraz budowy kabli, a także metod ich badań, są bardzo ważne w kontekście nowego Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 roku, zwanego CPR, ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającego Dyrektywę Rady 89/106/EEG. Jego znaczenie jest związane z wejściem w życie nowej normy PN-EN 50575, w której szczegółowo określono wymagania dla przewodów elektrycznych

Ceramisable silicone rubber

In literature, a number of references concerning silicone ceramising composites that create an effective thermal barrier protecting copper wires against overheating or melting during a fire can be found [3, 13, 14]. In general, the resulting ceramic layer is porous, which allows protecting copper wires against melting by fire, without providing any protection against water from sprinkling installations. The microstructure of the layer formed in a temperature range from 600 to 1080°C has a significant impact on cable insulation when exposed to fire, in case the following two main types of transformations are found to occur:

- thermal decomposition of the silicone rubber,
- sintering and ceramisation of inorganic fillers.

The potential reaction between the products of thermal degradation of the silicone rubber and silicone rubber inorganic fillers is a very important factor affecting the low-porous microstructure of the ceramised layer. During the thermal degradation of silicone rubber containing chalk [15], the following reactions are found to occur:



The calcium silicate formed during thermal decomposition, containing predominantly fibrous wollastonite structures, gives good mechanical properties to the ceramised layer. In contrast, fillers containing alumina, especially the hydrated ones, exert a negative impact on the process of thermal decomposition of the silicone rubber. The hydroxyl groups present on the surface of the aluminium oxide particles have a negative catalytic effect on the degradation process of silicone rubber, manifested by a significant decrease in the rubber decomposition temperature [16], which leads to a loss of cohesiveness of the inorganic filler particles and the formation of a brittle ceramised layer with high porosity. Therefore, in order to obtain the proper ceramisation process, it seems advantageous to increase the decomposition temperature of the silicone rubber. By using different crystalline additives, the proper course of the composite degradation, and its transformation during ceramisation process, can be ensured. In order to obtain optimal safety parameters, the appropriate cable construction is very important.

Further research on the silicone ceramifiable ceramisable rubbers and cables construction and testing methods is very important in the context of the new Regulation (EU) No. 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011, referred to as CPR, repealing the existing Council Directive 89/106/EEC and specifying the harmonised conditions for the marketing of construction products. Its importance is closely related to the entry into force of the new PN-EN 50575 standard, in which the requirements for electrical wires as construction

jako wyrobów budowlanych. Nakłada ona na producentów kabli i przewodów obowiązek dostarczania informacji o klasie produktu, potwierdzonej testami przeprowadzonymi w niezależnym centrum badawczym.

Silikonowe powłoki ogniochronne

Silikonowe powłoki ogniochronne są szeroko stosowane z uwagi na ich wyjątkowe właściwości, szczególnie związane z ich bardzo dobrą wytrzymałością na wysokie temperatury. Najważniejszy czynnik wpływający na długofalową odporność powłok na wysoką temperaturę jest powiązany z typem żywicy:

- żywice metylosilikonowe posiadają odporność na wysokie temperatury do 10 000 h, w temp. 200°C,
- żywice fenylosilikonowe posiadają odporność na wysokie temperatury powyżej 100 000 h, w temp. 230–250°C.

Dodanie pigmentów tlenku nieorganicznego umożliwia podniesienie temperatury stosowania takich powłok do 300–350°C. Z kolei dodanie pyłu cynkowego i aluminowego pozwala zwiększyć temperaturę stosowania do 500–600°C.

W ostatnich latach nastąpił duży rozwój w zakresie powłok i farb stosowanych do zabezpieczania konstrukcji stalowych niewykazujących się odpornością ogniową i wymagających zabezpieczenia za pomocą odpowiednich powłok lub innych rozwiązań konstrukcyjnych celem zagwarantowania bezpieczeństwa w razie pożaru [17, 18]. Obecnie w tym celu stosuje się najczęściej farby pęczniące tworzące piankę izolacyjną po ogrzaniu powyżej temperatury krytycznej. Do głównych składników takich farb należą: materiał ulegający zwęgleniu, kwas mineralny będący katalizatorem, środek porotwórczy oraz lepiszcze żywiczne. Niestety mają one następujące wady, które ograniczają ich stosowanie:

- organiczne składniki są narażone na egzotermiczny rozkład powodujący zmniejszenie izolacji termicznej systemu,
- powstały zwęglony materiał ma słabszą spójność strukturalną, a ogień może spowodować uszkodzenie powłok,
- podczas pożaru możliwe jest uwalnianie się gazów toksycznych.

Jednym z możliwych rozwiązań są powłoki na bazie silikonu [19]. Polimery silikonowe, z uwagi na ich budowę chemiczną, charakteryzują się bardzo niską przewodnością cieplną oraz odpornością na wysokie temperatury. Ponadto ich rozkład termiczny powoduje uwalnianie małych ilości nietoksycznych gazów. Właściwości zwęglonej pozostałości, powstałej w wyniku rozkładu termicznego silikonów, w dużym stopniu zależą od ich budowy chemicznej. Liniowy poli(dimetylosiloksan) (PDMS) ulega rozkładowi, będącym procesem jednostopniowym, w którym powstaje SiO_2 jako produkt stały. Z kolei degradacja rozgałęzionego PDMS to proces kilkustopniowy. Ilość zwęglonego materiału powstałego podczas rozpadu zwiększa się odpowiednio względem stopnia rozgałęzienia silikonu [20]. Obecność grup fenylowych sprzyja tworzeniu rozgałęzionych struktur zdolnych do tworzenia połączeń podczas rozpadu termicznego silikonów. Budowa warstwy zabezpieczającej również zależy od temperatury rozkładu [21]. W temperaturach powyżej 600°C rozgałęzione

products were detailed. It imposes on cables and wires manufacturers the obligation to provide information about the product class, confirmed by tests carried out by an independent research centre.

Silicone fire-retardant coatings

Silicon resin coatings are widely applied for their unique properties, especially related to their very good heat resistance. The most important effect on the long-term heat resistance of the coating is connected with the type of resin:

- methyl silicone resins can withstand prolonged heating up to 10000 hours, at 200°C
- methylphenyl silicone resins withstand long-term heating above 100,000 hours, at 230–250°C.

The addition of inorganic oxide pigments allows increasing the temperature of the use of these coatings to 300–350°C. In turn, the addition of aluminium and zinc dust increases the temperature to 500–600°C.

In recent years, there has been an intense development in the field of coatings and paints that are used to protect steel structures which do not have fire resistance and require protection by applying appropriate coatings or other construction solutions to ensure safety during a fire [17, 18]. Currently, intumescent paints, displaying the properties to swell with the formation of insulation foam when heated above a critical temperature, are more widely used for this purpose. The main components of such paints include a char-forming material, a mineral acid catalyst, a blowing agent and a resin binder. Unfortunately, these paints have the following disadvantages that limit their use:

- organic based components undergo exothermic decomposition reducing the thermal insulation value of the system,
- the resulting char has a low structural integrity and the coating can be damaged during the fire,
- toxic gases may be released during the fire.

One of the possible solutions is the application of silicone-based coatings [19]. Silicone polymers, due to their chemical structure, are characterized by very low thermal conductivity and are heat-resistant. Moreover, during their thermal degradation small amounts of non-toxic gases are released. The properties of the char formed during the thermal decomposition of silicones strongly depends on their chemical structure. Linear polydimethylsiloxane (PDMS) tends to decompose in one step, with the formation of SiO_2 as a solid product, whereas branched PDMS degrades in several steps. The amount of char formed during degradation increases with the silicone branching rate [20]. The presence of phenyl groups promotes the formation of branched structures capable of building a network during the thermal decomposition of silicones. The structure of the protective layer also depends on the decomposition temperature [21]. At temperatures above 600°C, branched phenyl-polysiloxanes form a three-dimensional layer capable of absorbing gases evolved during decomposition. The use of fillers

fenylopolisiloksany tworzą trójwymiarową warstwę pochłaniającą gazy emitowane podczas rozkładu. Zastosowanie napelniaaczy ma znaczący wpływ na właściwości warstwy zabezpieczającej powstałe na skutek termicznego rozpadu silikonowej farby pęczniającej podczas pożaru. Najczęściej stosowane dodatki to grafit ekspandowany oraz organoglinki [22]. Organoglinka, dzięki warstwie zabezpieczającej, zwiększa znacząco wytrzymałość mechaniczną, co zapewnia lepszą ochronę przed ogniem. Na podstawie wyników dotyczących budowy takich powłok wykazano, że płytki krzemianu są interkalowane w matrycy silikonowej. Ponadto taka struktura stabilizowana jest za pomocą reakcji chemicznej między grupami hydroksylowymi organoglinki i matrycy silikonu.

Silikonowe uszczelki pęczniące

Ważnym zagadnieniem ochrony przeciwpożarowej jest odpowiednie zabezpieczenie elementów przeszklonych ścian osłonowych, które mają krytyczne znaczenie pod względem izolacji ogniochronnej [23]. Elementami zabezpieczenia ścian o dużym znaczeniu są specjalne uszczelki pęczniące, które pod wpływem wysokiej temperatury zwiększają swoją objętość i dzięki temu zapewniają uszczelnienie ściany oraz ochronę szczeliny przed rozprzestrzenieniem się ognia [24]. Dobrym rozwiązaniem są także bezszprosowe ściany działowe, a także profile umieszczane wyłącznie na obwodach ściany [25]. Słupy w takich konstrukcjach są zwykle zastępowane przez ognioodporne silikon oraz uszczelki pęczniące. Należy także pamiętać, że rodzaj stosowanych wkładek izolujących i wypełnienie profilu mają ogromny wpływ na klasę odporności ogniowej danej ścianki działowej. Obecnie na rynku dostępne są różnego rodzaju uszczelki pęczniące, w tym uszczelki na bazie silikonu. Biorąc pod uwagę powyższe, każda nowa ściana powinna przejść odpowiednie badania przed rozpoczęciem eksploatacji.

Uwagi końcowe

W oparciu o dokonaną powyżej syntezę informacji na temat zastosowania silikonów w ochronie przeciwpożarowej, można stwierdzić, że polimery silikonowe wykazują bardzo duży potencjał zastosowania w sytuacjach, w których wymagane są materiały o bardzo dobrej ogniochronności i odporności na wysokie temperatury. Potrzeba sprostania rosnącym wymaganiom prawdopodobnie przyczyni się do coraz szerszego ich stosowania również w środkach ochrony osobistej, takich jak hełmy, maski i rękawice itp. używanych przez strażaków podczas akcji ratowniczo-gaśniczych.

has a significant effect on the properties of the protective layer formed as a result of the silicone intumescent paint thermal decomposition occurring during a fire. The most frequently used additives are expanded graphite and organoclay [22]. Organoclay, thanks to the incorporation into the structure of the protective layer, increases significantly its mechanical strength, resulting in high protection against fire. Based on the results of the structural characterization of these coatings, it has been demonstrated that silicate platelets are intercalated in the silicone matrix. Moreover, this structure is stabilized by a chemical reaction between the hydroxyl groups from the organoclay and the silicone matrix.

Silicone intumescent gaskets

An important problem in the field of fire protection also refers to the appropriate protection of the glazed curtain wall elements that are critical in terms of fire insulation [23]. Special intumescent gaskets, which under the influence of high temperature increase their volume by sealing the wall and protecting the fissures against the penetration of fire [24], are significant elements protecting these walls. A good solution is also to construct partition walls without mullions, and profiles occurring only around the wall circumference [25]. Columns in such structures are usually replaced with fire-resistant silicone, in combination with intumescent seals. In these structures, bolts are most frequently used. It should also be remembered that the type of the insulating insert and the method of filling the profile have a huge impact on the fire resistance class of a given partition. Currently, many types of intumescent gaskets are available on the market, including those based on silicones. Taking into consideration the above conditions, each new curtain wall structure should be properly tested before being put into use.

Final remarks

Based on the above synthetic review focused on the application of silicones in fire protection, it can be stated that silicone polymers have a huge potential for wider introduction wherever materials with very good fire resistance and heat resistance are required. The need to meet the growing requirements will probably contribute to further extension of their use, also in personal protective equipment such as helmets, masks and gloves etc., which are used by firefighters during rescue and firefighting operations.

Literatura / Literature

- [1] Meals R.N., Lewis F.M., *Silicones*, Reinhold Publ., New York 1959.
- [2] Zielecka M., Bujnowska E., Suwała K., Wenda M., *Sol-Gel-Derived Silicon-Containing Hybrids Chapter from the book Recent Applications in Sol-Gel Synthesis*, (red.) U. Chandra, DOI: 10.5772/65824.
- [3] Bieliński D. M., Anyszka R., *Silikonowe kompozyty ceramizujące chroniące przed działaniem ognia*, w: *Materiały polimerowe o obniżonej palności*, B. Jurkowski, H. Rydarowski, Poznań 2012.
- [4] Rościszewski P., Zielecka M., *Silikony. Właściwości i zastosowania*, WNT 2002.
- [5] Mazur R., Guzewski P., *Ocena stopnia bezpieczeństwa w aspekcie statystyk zdarzeń za lata 2000-2012. Analiza statystyczna przypuszczalnych przyczyn pożarów obiektów mieszkalnych w skali kraju i miasta*, BITP Vol. 35 Issue 3, 2014, pp. 47–59.
- [6] Holborn P. G., Nolan P.F., Golt J., *An analysis of fatal unintentional dwelling fires investigated by London Fire Brigade between 1996 and 2000*, "Fire Safety Journal" 2003, 38(1).
- [7] Passia H., Kędzierski P., *Antystatyzacja tworzyw sztucznych w celu uniknięcia zagrożenia wybuchem*, BITP Vol. 38 Issue 2, 2015, pp. 45–51.
- [8] Jianhua G., Xiwang Y., Xuming Ch., Xingrong Z., *Improved antistatic properties and mechanism of silicone rubber/low-melting-point-alloy composites induced by high-temperature cyclic stretching*, "Journal of Alloys and Compounds" 2018, 739, 9–18, <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.12.231>.
- [9] *Properties of Structured Polysiloxane-Polytetrafluoroethylene Coating Systems*, Z. Dobkowski, M. Zielecka (red.) ICRI, 2001, 1–100.
- [10] *Characteristic properties of Silicone Rubber Compounds, Shin-Etsu Silicone catalogue*, https://www.shinetsusilicone-global.com/catalog/pdf/rubber_e.pdf [dostęp: 10.2019].
- [11] Hamdani S., Longuet C., Perrin D., Jose-Marie Lopez-cuesta J-M., Ganachaud F., *Flame retardancy of silicone-based materials*, "Polymer Degradation and Stability" 2009, 94 (465–495, doi:10.1016/j.polyimdegstab.2008.11.019).
- [12] Kartmann S., Koch F., Koltaya P., Zengerle R., Ernst A., *Single-use capacitive pressure sensor employing radial expansion of a silicone tube*, "Sensors and Actuators A" 2016, 247, 656–662, <http://dx.doi.org/10.1016/j.sna.2016.05.017>.
- [13] Jianhua G., Xuming Ch., Yong Z., *Improving the Mechanical and Electrical Properties of Ceramizable Silicone Rubber/Halloysite Composites and Their Ceramic Residues by Incorporation of Different Borates*, "Polymers 2018" 388, 10, doi:10.3390/polym10040388.
- [14] Patent PL/EP 2032655.
- [15] Hermansson A., Hjertberg T., Sultan B-A., *The flame retardant mechanism of polyolefins modified with chalk and silicone elastomer*, "Fire Mater." 2003, 27, 51–70.
- [16] Clerc L., Ferry L., Leroy E., Lopez-Cuesta J-M., *Influence of talc physical properties on the fire retarding behaviour of poly(ethylene-vinyl acetate) copolymer/magnesium hydroxide/talc composites*, "Polym. Degr. Stabil." 2005, 88(3), 504–511.
- [17] Dębska D., Fiertak M., *Efektywność działania silikonowych powłok ogniochronnych*, BITP Vol. 37 Issue 1, 2015, pp. 45–55, DOI:10.12845/bitp.37.1.2015.4.
- [18] Yakovchuk R.S., Veselivskiy R.B., *Effectiveness Testing of Filled Silicon Organic Coatings for Concrete*, BITP Vol. 36 Issue 4, 2014, pp. 59–64, DOI:10.12845/bitp.36.4.2014.6.
- [19] Gardellea B., Duquesnea S., Rerate V., Bourbigota S., *Thermal degradation and fire performance of intumescent silicone-based coatings*, "Polym. Adv. Technol." 2013, 24 62–69, DOI: 10.1002/pat.3050.
- [20] Zhou W., Yang H., Guo X., Lu J., *Thermal degradation behaviours of some branched and linear. Polysiloxanes*, "Polym. Degrad. Stab." 2006, 91, 1471.
- [21] Puri R.G., Khanna A. S., *Intumescent coatings: A review on recent progress*, "J. Coat. Technol. Res.", 2017, 14 (1), 1–20, DOI 10.1007/s11998-016-9815-3.
- [22] Gardellea B., Duquesnea S., Vandereckenb P., Bellayera S., Bourbigota S., *Resistance to fire of intumescent silicone based coating: The role of organoclay*, "Progress in Organic Coatings" 2013, 76, 1633–1641, doi.org/10.1016/j.porgcoat.2013.07.011.
- [23] Sędlak B., Kinowski J., Sulik P., *Miejsca krytyczne elementów próbných przeszkłonych ścian osłonowych pod względem izolacyjności ogniowej*, BITP Vol. 45 Issue 1, 2017, pp. 38–50, 10.12845/bitp.45.1.2017.3.
- [24] Sędlak B., *Systemy przegród aluminiowo-szkłanych o określonej klasie odporności ogniowej*, "Świat Szkła" 2013, 18, 10, 30–33, 41.
- [25] Sędlak B., *Bezsprosowe szklane ściany działowe o określonej klasie odporności ogniowej*, "Świat Szkła", 2014, nr 11, 24, 26, 28, 30.

DR HAB. MARIA ZIELECKA, PROF. CNBOP-PIB – ukończyła studia magisterskie na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. Stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie technologia chemiczna uzyskała w Instytucie Chemii Przemysłowej im. prof. Ignacego Mościckiego, a doktora habilitowanego na Wydziale Chemicznym Politechniki Warszawskiej. Jest autorem i współautorem ponad 60 publikacji, w tym ponad 40 z Listy Fladelfijskiej, ponad 35 patentów (w tym 2 patenty USA, 1 patent Chiny, 2 patenty europejskie) oraz 13 wdrożonych technologii. Zdobyła ponad 40 nagród i dyplomów za opracowane technologie na międzynarodowych wystawach wynalazczości. Obecnie zatrudniona w CNBOP-PIB.

MARIA ZIELECKA, D.SC. – Professor of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP-PIB), completed her Master studies in the Faculty of Chemistry at the University of Warsaw. She earned the Ph.D. degree in technical sciences, in the field of chemical technology, at Industrial Chemistry Research Institute, and the Doctor of Science degree in the Faculty of Chemistry at the Warsaw University of Technology. She has authored and co-authored over 60 publications, including over 40 from the Philadelphia List, along with over 35 patents (including two U.S., one Chinese and two European patents), 13 implemented technologies, and over 40 rewards and diplomas for developed technologies at international inventiveness fairs. She is currently employed at the CNBOP-PIB.



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.

SZKOLENIA SPECJALISTYCZNE

Ponad 20 lat doświadczenia
na rynku usług szkoleniowych
z zakresu ochrony przeciwpożarowej,
zarządzania kryzysowego oraz ochrony ludności



Szkolenia dla projektantów, instalatorów i konserwatorów

- ✓ Systemy sygnalizacji pożarowej
- ✓ Systemy wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych
- ✓ Hydranty zewnętrzne i wewnętrzne
- ✓ Podręczny sprzęt gaśniczy
- ✓ Oświetlenie awaryjne
- ✓ Projektowanie systemów różnicowania ciśnienia w budynkach wielokondygnacyjnych

Szkolenie dla rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych

Dyrektywa ATEX

Ocena ryzyka związanego z możliwością wystąpienia
atmosfer wybuchowych – podejście praktyczne

- ✓ Stałe urządzenia gaśnicze gazowe w ochronie przeciwpożarowej
- ✓ Stałe urządzenia tryskaczowe w ochronie przeciwpożarowej
- ✓ Dobór, montaż, przegląd i konserwacja drzwi i innych zamknięć przeciwpożarowych
- ✓ Szkolenie: Analiza numeryczna w wentylacji pożarowej

PEŁNA OFERTA I ZAPISY NA WWW.CNBOP.PL

dr hab. inż. Władysław Harmata, prof. WAT^{a)}*, gen. bryg. (r) Marek Witczak, prof. wizyt. WAT^{a)}

^{a)}Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Nowych Technologii i Chemii / Military University of Technology, Faculty of Advanced Technologies and Chemistry

*Autor korespondencyjny / Corresponding author: wladyslaw.harmata@wat.edu.pl

Rozpoznanie skażeń w Polsce – aktualny stan wiedzy

Diagnosis of Contamination in Poland – Current State of Knowledge

Распознавание загрязнений в Польше – использование современных разработок

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest prezentacja aktualnego stanu wiedzy nt. prowadzenia rozpoznania skażeń w systemie automatycznym za pomocą środków bezzałogowych.

Wprowadzenie: Narasta hipotetyczne zagrożenie skażeniami na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej (RP), których źródłami mogą być katastrofy i awarie techniczne w zakładach przemysłowych (w tym w elektrowniach jądrowych) oraz niekontrolowane uwolnienia wysoko toksycznych substancji chemicznych w czasie transportu, a także czego nie można wykluczyć – terroryzm. W niniejszej pracy zasygnalizowano dylematy systemu rozpoznania skażeń w Siłach Zbrojnych RP (SZ RP) dotyczące głównie jego elementów technicznych i organizacyjnych. Przedstawiono opracowania techniczne, które wykorzystywane są w armiach NATO do automatycznego rozpoznania (wykrywania) skażeń. Zaproponowano elementarny sposób działania systemu podczas wykonywania zadań. Wprowadzenie rozwiązań automatycznych w znacznym stopniu zwiększyłoby efektywność działania Systemu Wykrywania Skażeń w SZ RP (SWS SZ RP), ale także innych cywilnych podsystemów funkcjonalnych w Krajowym Systemie Wykrywania Skażeń i Alarmowania (KSWSiA). Za ich wykorzystaniem przemawia wiele zalet takich jak m.in. brak konieczności narażania personelu na skażenie oraz wysoka mobilność.

Wnioski: Na terytorium RP istnieje realne zagrożenie skażeniami powstałymi po niekontrolowanym uwolnieniu wysoko toksycznych substancji chemicznych z ponad 400 zakładów przemysłowych, mogących być potencjalnymi źródłami poważnych awarii. Uwolnienie do środowiska może zostać spowodowane czynnikami naturalnymi (np. huragany, powodzie, trzęsienia ziemi) lub przez człowieka w sposób nieświadomy (np. przez błąd ludzki) lub świadomy (np. jako akt terroryzmu). W analizie nie można pominąć zagrożeń od reaktorów jądrowych znajdujących się przy granicach RP oraz od patogenów. System Wykrywania Skażeń SZ RP jest niespójny proceduralnie z analogicznymi rozwiązaniami istniejącymi w NATO. W NATO preferowane są systemy zautomatyzowane oparte na najnowszych osiągnięciach techniki, a w SZ RP „ręczne” z wyposażeniem technicznym z minionej epoki. Zarządzanie informacją CBRN (na temat broni chemicznej, biologicznej, radiologicznej i nuklearnej) nie powinno być tylko zapisem instrukcyjnym, ale rzeczywistym elementem systemu Obrony Przed Bronią Masowego Rażenia (OPBMR), a zadanie opracowania oceny i prognozowanie zagrożeń powinno być zadaniem wyprzedzającym wykonanym na podstawie aktualnych stanów magazynowych w zakładach i być przyczynkiem do planowania rozmieszczenia elementów Systemu Wykrywania Skażeń. System rozpoznania skażeń, wzorem rozwiązań istniejących w armiach NATO, powinien opierać się na środkach automatycznych np. typu lidar, dron, robot lub ich połączeń: dron z lidarem, robot z lidarem lub desantowana mikropaleta (z zestawem czujników, systemem analizy i przekazywania sygnału) o określonym czasie eksploatacji (np. 24 h) typu amerykańskiego Organic Air Vehicle.

Słowa kluczowe: rozpoznanie skażeń, środki bezzałogowe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 17.07.2018; Zrecenzowany: 22.11.2018; Zatwierdzony: 20.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: W. Harmata – 0000-0001-6271-9000; M. Witczak – 0000-0001-9743-7150;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 20–45, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.2>;

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

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to present the current state of knowledge on the reconnaissance of contamination in the automatic system by unmanned means.

Introduction: The hypothetical threat of contamination in the territory of the Republic of Poland (RP) is growing. This threat may be caused by technological disasters and technical failures in industrial plants (including nuclear power plants) and also uncontrolled releases of highly toxic chemicals during transport, and in some cases, which cannot be ruled out, also by terrorism. This work introduces the dilemmas of the contamination reconnaissance system of the Polish Armed Forces, mainly their technical and organisational elements. It presents technical studies that have been used in NATO armies for the automated reconnaissance (detection) of contaminations. The basic operation of the system for the performance of its tasks is proposed. The implementation of automated systems would significantly increase the effectiveness of the Reconnaissance System of the Polish Armed Forces (SWS

SZ RP), but also of other civil functional subsystems in the National Alert and Detection System (KWSiA). Automated recognition systems have many advantages such as there being no need to expose staff to contamination and high mobility.

Conclusions: There is a real threat that the territory of the Republic of Poland could become contaminated through the uncontrolled release of highly toxic chemicals from over 400 industrial plants that could be potential sources of major failures. Releases to the environment may be caused by natural factors (e.g. hurricanes, floods, earthquakes) or by unintentional (e.g. human error) or deliberate (e.g. act of terrorism) human activity. This analysis should not ignore threats posed by nuclear reactors located near the borders of the Republic of Poland and by pathogens. The Contamination Detection System of the Polish Armed Forces is incompatible in procedural terms with analogous solutions existing in NATO member states. In these countries it is preferable to use automated systems based on the latest technological developments, while in the Polish Armed Forces the systems employed are manually operated and obsolete. CBRN information management should be not only an instructional record, but a real element of the Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Defence (CBRN Defence) system. The task involving risk assessment and forecasting should be an anticipatory task based on present inventory levels in plants and contribute to planning the deployment of the elements of the Contamination Detection System. The contamination reconnaissance system, modelled on the basis of the solutions available in NATO armies, should employ automatic means such as lidar, drones and robots or their joint implementation – drones with lidar, robots with lidar or dropped micro-pallets (with a set of sensors and a signal analysis and alerting system) with a specific service life (e.g. 24 h) – such as the US Organic Air Vehicle.

Keywords: contamination reconnaissance, unmanned systems

Type of article: review article

Received: 17.07.2018; Reviewed: 22.11.2018; Accepted: 20.12.2018;

Authors' ORCID IDs: W. Harmata – 0000-0001-6271-9000; M. Witczak – 0000-0001-9743-7150;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 20–45, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.2>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью статьи является представление современных разработок в сфере проведения диагностики загрязнений при помощи автоматической системы с использованием беспилотных средств.

Введение: Гипотетическая угроза загрязнений на территории Республики Польша (РП) растет, их источниками могут быть техногенные катастрофы, аварии на промышленных предприятиях (в том числе на атомных электростанциях) и неконтролируемые выбросы высокотоксичных химических веществ во время транспортировки, а также то, что нельзя исключать – терроризм. В этом документе были обозначены дилеммы системы распознавания загрязнений в Вооруженных силах Республики Польша (СРЗ ВС РП), связанные главным образом с ее техническими и организационными составляющими. Представлены технические разработки, которые используются в армиях НАТО для автоматического распознавания (обнаружения) загрязнений. Предложен простейший способ работы системы во время выполнения задач. Внедрение автоматизированных решений значительно повысит эффективность системы распознавания загрязнений в польских вооруженных силах (СРЗ ВС РП), а также других гражданских функциональных подсистем в Национальной системе распознавания загрязнений и оповещения (НСРЗиО). Среди многих преимуществ системы выделяют отсутствие необходимости подвергать персонал опасности и высокая мобильность.

Выводы: На территории Республики Польша существует реальная угроза возникновения загрязнений в результате неконтролируемого выброса высокотоксичных химических веществ на более чем 400 промышленных предприятиях, которые могут быть потенциальными источниками крупных аварий. Выброс в окружающую среду может быть вызван природными факторами (например, ураганами, наводнениями, землетрясениями) или неосознанными человеческими действиями (например, ошибками персонала) или осознанными (например, террористическими актами). Анализ не может игнорировать угрозы, исходящей от ядерных реакторов, расположенных на границах Республики Польша и от патогенных микроорганизмов. Система обнаружения Вооруженных сил Польши является, с точки зрения процедур, неслаженной с аналогичными решениями, существующими в НАТО. В НАТО предпочтение отдается автоматизированным системам, основанным на последних технологических достижениях, а в Вооруженных силах Польши «ручных», с техническим оборудованием ушедшей эпохи. Управление информацией ХБРЯ (о химическом, биологическом, радиологическом и ядерном оружии) должно быть не только обучающим документом, но и реальным элементом Системы защиты от оружия массового поражения (СЗОМП), а задача оценки и прогнозирования угроз должна быть упреждающей задачей, исходящей из количества существующих запасов потенциальных источников загрязнений на заводах и должна вносить вклад в планирование развертывания элементов системы обнаружения. Система распознавания загрязнения, представляющая собой модель решений, существующих в армиях НАТО, должна основываться на автоматических средствах, таких как лидар, дрон, робот или их комбинации: дрон с лидаром, робот с лидаром или десантируемая микросхема (с набором датчиков, системой анализа и сигнализации) с определенным сроком службы (например, 24 часа) типа американского Organic Air Vehicle.

Ключевые слова: распознавание загрязнения, беспилотники

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 17.07.2018; Рецензирована: 22.11.2018; Одобрена: 20.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: W. Harmata – 0000-0001-6271-9000; M. Witczak – 0000-0001-9743-7150;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 20–45, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.2>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wstęp

W niniejszym artykule przedstawiono analizy na temat istniejącego systemu rozpoznania skażeń w SZ RP. Z uwagi na narastające zagrożenia skażeniami, głównie pochodzenia przemysłowego, istnieje potrzeba wprowadzenia zmian technicznych i organizacyjnych w systemie, tak aby w maksymalnym stopniu pozwalał on na eliminację czynnika ludzkiego przy zachowaniu wiarygodności otrzymywanych danych.

Do niedawna określenie „skażenie środkami chemicznymi, promieniotwórczymi czy biologicznymi” kojarzyło się wyłącznie z okresem wojny i użyciem broni masowego rażenia. Wiązało się to z szerokim uświadamianiem społeczeństwa o możliwości wystąpienia tego rodzaju zagrożeń, o skutkach, jakie mogą one wywołać, sposobach zabezpieczenia przed nimi i ich likwidacji. Mało rozpowszechniane były natomiast zagadnienia związane ze skażeniami w okresie pokoju.

Analiza zagrożenia terytorium RP skażeniami

Zakłady przemysłowe

Produkcyjna działalność ludzka, chociaż bogata w formy i rodzaje wytworów umysłu i rąk ludzi, przynosi jednak w rezultacie mniejsze lub większe zagrożenia dla środowiska. Procesy wytwórcze spowodowały, że stale potęgują się do niedawna niedoceniane kwestie zanieczyszczeń, które dziś urosły do rangi problemu globalnego (np. smog). W dzisiejszym uprzemysłowionym świecie paradoksem jest nawet to, że skażenia powietrza i wód stanowi o wiele większe niebezpieczeństwo niż skażenie żywności czy użycie broni masowego rażenia.

Zbyt późne wykrycie skażenia sprawia, że bardzo często powoduje ono masowe straty zarówno w ludziach, jak i w środowisku naturalnym. Wymusza to konieczność prowadzenia dokładnej i systematycznej analizy realnych oraz hipotetycznych przyczyn powstania skażeń, która pozwoli na szybkie wszczęcie działań prewencyjnych, dzięki którym możliwa będzie ochrona ludności przed skażeniami lub zminimalizowanie ich skutków. Jest to dość trudne zagadnienie ze względu na dużą złożoność przyczyn powstawania skażeń, które mogą obejmować działalność człowieka lub niszczyliską siłę natury. Należy zauważyć, że obie wymienione przyczyny są w pewnych aspektach ze sobą skorelowane, wzajemnie wpływają na siebie, co dodatkowo komplikuje analizę zagrożenia skażeniami.

We współczesnych czasach, jak wspomniano wcześniej, zagrożenie może pochodzić głównie z katastrofalnych uwolnień wysoko toksycznych substancji chemicznych i promieniotwórczych z zakładów przemysłowych (elektrowni jądrowych), transportu (głównie drogowego), a także, czego nie można wykluczyć, działalności terrorystycznej.

Według danych Komendy Głównej PSP na koniec 2016 roku w RP zlokalizowanych było 415 zakładów przemysłowych, w których istnieje możliwość wystąpienia poważnej awarii przemysłowej ze względu na ilość przechowywanych w nich materiałów niebezpiecznych. W tej liczbie znajdowało się 179 zakładów dużego ryzyka (ZDR) i 236 zakładów zwiększonego ryzyka

Introduction

This article presents analyses of the present contamination reconnaissance system in the Polish Armed Forces. Due to the growing threat of contamination, mainly of industrial origin, there is a need to introduce technical and organisational changes into the system, to eliminate the human factor to the maximum possible extent while maintaining the reliability of the data received.

Until recently, the term “chemical, radioactive or biological contamination” was associated only with wartime and the use of weapons of mass destruction. This involved raising public awareness of the possibility of such risks, the effects they may have, and the means of protecting against them and dealing with them. On the other hand, issues related to contamination during peacetime were rarely discussed.

An analysis of the risk of contamination in the territory of the Republic of Poland

Industrial plants

Manufacturing activities undertaken by man, however rich in terms of form and type of man-made items, results in risks to the environment which may be more or less significant. Manufacturing processes have resulted in pollution issues, which until recently have been underestimated, growing to reach the rank of a global problem (e.g. smog). In the present industrialised world, it is paradoxical that air and water contamination has become much more dangerous than food contamination or the use of weapons of mass destruction.

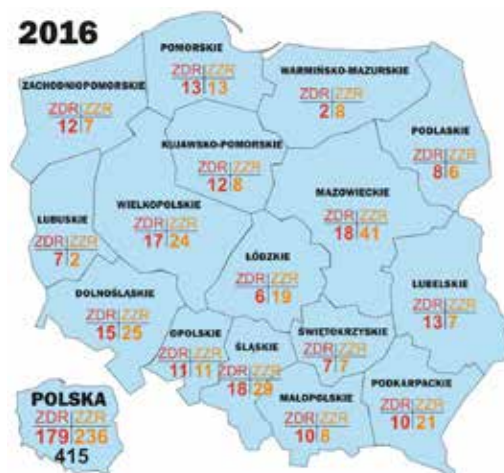
Detecting contamination too late often results in heavy loss of life and environmental damage. This necessitates a thorough and systematic analysis of the real and hypothetical causes of contamination, which will facilitate the quick launching of preventive measures to protect the population against contamination or to minimise its effects. This is a rather difficult issue due to the significant complexity of the causes of contamination, which can include human activity or the destructive force of nature. One should note that both these causes are correlated in some respects, which further complicates the analysis of the risk of contamination.

Nowadays, as mentioned above, the risk may be caused mainly by catastrophic releases of highly toxic chemical and radioactive substances from industrial plants (nuclear power plants), transport (mainly road transport) and terrorist activities, which also cannot be ruled out.

According to the data of the National Headquarters of the State Fire Service, as at the end of 2016 in Poland there were 415 industrial plants which, due to the amount of hazardous materials stored within, posed a risk of a serious industrial accident. These included 179 upper-tier establishments (UTE) and 236 lower-tier establishments (LTE). Figure 1 presents the

(ZZR). Na ryc. 1 przedstawiono zestawienie ilościowe (stan na 31.12.2016) odnoszące się do liczby zakładów kategorii ZDR oraz ZZR¹ w Polsce w rozbiciu na poszczególne województwa.

numbers of UTEs and LTEs¹ in Poland in individuals voivode-ships (as at 31.12.2016).



Rycina 1. Liczba zakładów kategorii ZDR oraz ZZR w Polsce według danych KG PSP (stan na 31.12.2016) [1]

Figure 1. Number of UTEs and LTEs in Poland according to National Headquarters of the State Fire Service's data (as on 31 December 2016) [1]

Awarie reaktorów w elektrowniach jądrowych

Skutki katastrof, zwłaszcza w Czarnobylu, budzą ogromne obawy związane z pozyskiwaniem energii z tego typu obiektów. Konsekwencje awarii dotknęłyby miliony ludzi i nadal budzą strach.

Elektrownie jądrowe, mogące – w wyniku wypadku lub za pomocą celowego uszkodzenia – uwalniać promieniowanie natychmiastowe i powodować skażenie atmosfery, potencjalnie stanowią duże zagrożenie dla ogółu ludności. Emisja promieniowania γ i neutronowego powyżej wartości krytycznych może w krótkim czasie spowodować wystąpienie dawek śmiertelnych dla człowieka. Skażenie promieniotwórcze z uszkodzonego niezdeaktywowanego reaktora (dwa reaktory w EJ w Ignalino na Litwie) może trwać bardzo długo, powodując wewnętrzne i zewnętrzne zagrożenie radiologiczne dla personelu i ludności na bardzo dużym obszarze. Dla tego promieniowania charakterystyczna jest radiotoksyczność biologiczna. Tym samym obliczanie przybliżonych wartości dawek efektywnych ściśle zależy od rodzaju promieniowania pochodzącego od występujących radionuklidów.

Failures of nuclear power plant reactors

The effects of the disasters, especially of the Chernobyl disaster, raise great concerns in respect of obtaining energy from such facilities. The effects of a failure would affect millions and still instil fear in people.

Nuclear power stations with the potential of immediately releasing radiation and contaminating the atmosphere as a result of accidents or deliberate action, can potentially pose a high risk to the general public. The effects of γ and neutron radiation exceeding critical values can quickly result in people being exposed to lethal doses. Radioactive contamination from a damaged reactor which had not been deactivated (two reactors at the Ignalina NPP in Lithuania) can last for a very long time, causing internal and external radiological risks to personnel and population in an extensive area. This type of radiation is characterised by biological radiotoxicity. Thus, to calculate the approximate values of effective doses one must establish the presence of radionuclides in radiation.

¹ **Poważna awaria** – zdarzenie, w szczególności emisja, pożar lub eksplozja, powstałe w trakcie procesu przemysłowego, magazynowania lub transportu, w którym występuje jedna niebezpieczna substancja lub więcej jej rodzajów, prowadzące do natychmiastowego powstania zagrożenia życia lub zdrowia ludzi lub środowiska bądź powstania takiego zagrożenia z opóźnieniem (definicja ustawy – POŚ). **Zakład o dużym ryzyku wystąpienia awarii (zakład dużego ryzyka – ZDR)** – nazwa kategorii zakładów (instalacji) spełniających kryterium większej wartości progowej – zagrożenie poważną awarią (katastrofą) o poważnych skutkach również poza terenem zakładu. **Zakład o zwiększonym ryzyku wystąpienia poważnej awarii (zakład zwiększonego ryzyka – ZZR)** – nazwa kategorii zakładów (instalacji) spełniających kryterium mniejszej wartości progowej – zagrożenie awarią o skutkach wewnątrz zakładu lub (ewentualnie) o lokalnym zasięgu skutków.

¹ **Major accident** – an event, in particular an emission, fire or explosion, arising in the course of an industrial process, storage or transport, involving one or more hazardous substances, leading to an immediate or delayed risk to human life or health or the environment (a definition from the Environmental Law). **Upper-tier establishment – UTE** – refers to establishments (plants) which meet the criterion of the upper threshold – risk of a major accident (disaster) with serious public health effects also off-site. **Lower-tier establishment – LTE** – refers to establishments (plants) which meet the criterion of the lower threshold – risk of an accident with effects on-site or (possibly) locally.

Na ryc. 2 przedstawiono rozmieszczenie elektrowni jądrowych w państwach sąsiadujących z Polską w promieniu 300 km od granicy.

Figure 2 presents the locations of nuclear power plants situated up to 300 km from the Polish border in countries neighbouring Poland.



Rycina 2. Czynne elektrownie jądrowe w odległości do 300 km od granic RP (Boiling Water Reactor (BWR) – reaktor wodny wrzący, Wodo–Wodianoj Energietyczeskiej Rieaktor (WWER) – wodno-wodny reaktor energetyczny) [2]

Figure 2. Operating nuclear power plants at distances up to 300 km from the borders of the Republic of Poland (Boiling Water Reactor (BWR) Wodo-Wodianoj Energietyczeskiej Rieaktor (WWER) – water-water energetic reactor) [2]

Wystąpienie eksplozji nuklearnej w elektrowni jądrowej nie jest możliwe, nawet gdyby zawiodły w niej systemy bezpieczeństwa lub opanowali ją terroryści. Jest to związane z tym, że paliwo jądrowe w reaktorach zawiera uran wzbogacony o rozszczepialny izotop ^{235}U zaledwie do poziomu około 3%. Do wywołania eksplozji jądrowej konieczny jest uran znacznie bardziej wzbogacony. Nawet prędkie reaktor powielający ma za mały stopień wzbogacenia, by eksplodować jak bomba atomowa. Jego elementy paliwowe zawierają tylko 20–30% materiału rozszczepialnego, podczas gdy bomba atomowa prawie 100%. Prawdopodobna może być tylko kradzież elementów radioaktywnych lub zniszczenie obiektów elektrowni [3].

Właściwie zabezpieczone elektrownie jądrowe w okresie pokoju nie stanowią istotnego zagrożenia. Wprawdzie gdyby zbombardowano czy wysadzono elektrownię jądrową o mocy 1300 MW, która już pewien czas pracowała, to ilość uwolnionego materiału promieniotwórczego byłaby równa tej, jaka powstałaby przy eksplozji tysiąca bomb zrzuconych na Hiroszimę. Olbrzymie obszary byłyby przez stulecia niezdatne do zamieszkania. Awaria reaktora w Czarnobylu jest tego najlepszym dowodem. Była najpoważniejszym wypadkiem w dziejach pracy wszystkich elektrowni jądrowych. W wyniku tej awarii reaktor został zniszczony całkowicie, a przy tym duża ilość materiałów radioaktywnych dostała się do środowiska. Do atmosfery ułotniło się w postaci aerozoli około 28 kg ^{137}Cs i 0,37 kg ^{131}I . Wymienione ilości są niewielkie, ale obszar, który objęło skażenie,

It is not possible for a nuclear explosion to occur at a nuclear power plant even if its safety systems have failed or terrorists took control of it. This is due to the fact that nuclear fuel used in reactors includes uranium enriched with the fissile ^{235}U isotope up to a concentration of approx. 3%. In order to trigger a nuclear explosion, a much more enriched uranium is needed. Even a fast breeder reactor is not enriched enough to explode like an atomic bomb. Its fuel elements include only 20–30% of fissile material, while an atomic bomb has nearly 100% of it. The only probable events are the theft of radioactive elements or destruction of power plant facilities [3].

Appropriately secured nuclear power plants do not pose a significant threat in peacetime. Admittedly, if a 1300 MW nuclear power plant, which had been in operation for some time, were to be bombed or blown up, the amount of radioactive material released would have been equal to that which would have been produced by the explosion of a thousand bombs dropped on Hiroshima. Enormous areas would be rendered uninhabitable for centuries. This is best illustrated by the Chernobyl reactor failure. It was the most severe accident in the history of operation of all nuclear power plants. As a result of this failure, the reactor was completely destroyed and a substantial amount of radioactive materials were released to the environment. Approximately 28 kg of ^{137}Cs and 0.37 kg of ^{131}I were released to the atmosphere as aerosols. While quantities are small, the contaminated area covered the whole of Europe. Around 135,000 people were

sięgał całej Europy. Na terytorium Ukrainy wysiedlono około 135 tysięcy ludzi. Awaria spowodowała narażenie pracowników elektrowni na pochłonięcie wysokich dawek promieniowania. Poza tym konieczna była ewakuacja ludności z terenów o największym skażeniu promieniotwórczym [4, 5].

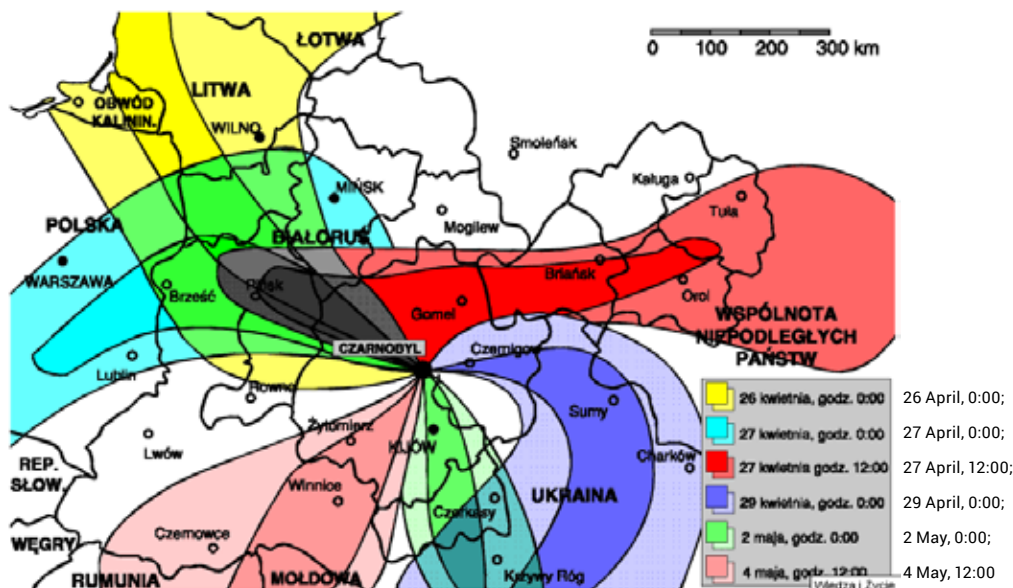
Do narażenia ludzi na promieniowanie jonizujące w Czarnobylu przyczyniły się przede wszystkim: jod ^{131}I , cez ^{134}Cs i ^{137}Cs . Wkład do tej dawki miały także inne krótkożyciowe radionuklidy rejestrowane w pierwszym okresie po awarii. Obecnie rejestruje się jeszcze znaczne ilości ^{137}Cs w glebie i ściółce leśnej.

Średnie dawki promieniowania dla osób najbardziej narażonych podczas awarii reaktora, czyli 240 osób pracujących przy reaktorze i 116 000 osób ewakuowanych wynosiły odpowiednio 100 i 30 mSv. W pierwszych dziesięciu dniach po awarii średnia dawka promieniowania dla tych, którzy przebywali jeszcze na skażonych obszarach wynosiła 10 mSv. Maksymalne wartości dawek mogły być nawet o rząd wielkości wyższe. Promieniowanie odnotowywane było także w pozostałej części Europy, poza granicami Białorusi, Rosji i Ukrainy. Tam dawki wynosiły 1 mSv w pierwszym roku po awarii i zmniejszały się sukcesywnie w latach następnych [4]. Na ryc. 3 przedstawiono zasięg stref skażeń aerozolem promieniotwórczym po awarii reaktora w Czarnobylu.

displaced in Ukraine. As a result of the failure, the plant workers were exposed to high radiation doses. Also, the population had to be evacuated from the areas affected the most by radioactive contamination [4, 5].

In Chernobyl, ionising radiation exposure was mainly due to iodine ^{131}I , and caesium ^{134}Cs and ^{137}Cs . This dose also included short-lived radionuclides recorded within the initial period following the failure. Substantial amounts of ^{137}Cs are still being found in the soil and forest bed.

Average radiation doses for the most exposed individuals during the reactor failure, i.e. 240 people working at the reactor and 116 000 evacuees, equalled 100 and 30 mSv, respectively. Within the first ten days after the failure, the average radiation dose for those who remained in the contaminated areas was 10 mSv. However, the maximum doses could have been one order of magnitude larger. Radiation was also recorded in other European territories, outside Belarus, Russia and Ukraine. The doses there were 1 mSv in the first year after the failure, and were decreasing successively in subsequent years [4]. Figure 3 presents the range of contamination with the radioactive aerosol following the Chernobyl reactor failure.



Rycina 3. Strefy skażeń aerozolem promieniotwórczym po awarii reaktora w Czarnobylu [5]

Figure 3. The zone of contamination with the radioactive aerosol after the failure of the Chernobyl reactor [5]

Transport materiałów niebezpiecznych

Transport można zdefiniować jako „proces technologiczny wszelkiego przenoszenia na odległość, czy przemieszczania osób przedmiotów lub energii” [6].

Udział towarów niebezpiecznych w ogólnej masie przewożonych ładunków transportem lądowym wynosi w Polsce ok. 10%. Główne szlaki przewozu towarów niebezpiecznych przechodzą przez tereny wysoce zurbanizowane. Znaczącym odbiorcą niebezpiecznych związków chemicznych przewożonych głównie cysternami są zakłady przemysłowe.

Najwięcej towarów niebezpiecznych (tzw. toksycznych środków przemysłowych) przewozi się w okolicach Łodzi, Trójmiasta,

Transport of dangerous goods

Transport can be defined as a “technological process of any transfer or movement of persons, objects or energy at a distance” [6].

The percentage of dangerous goods in the total mass of goods transported by land transport in Poland is about 10%. The main routes for the transport of dangerous goods pass through highly urbanised areas. Industrial plants are a significant recipient of hazardous chemicals which are transported mainly by tankers.

Most dangerous goods (so-called toxic industrial agents) are transported around Łódź, Tri-City, Tarnów, Bydgoszcz,

Tarnowa, Bydgoszczy, Kielce i Czechowice-Dziedzic. Z ogólnej liczby 300 zakładów, w których produkuje się lub wykorzystuje w produkcji środki toksyczne, około 60 zalicza się do szczególnie groźnych. Poważnym zagrożeniem jest przewóz tych środków transportem samochodowym przez miasta. W ciągu doby przejeżdża przez nie około 40 ładunków samochodowych z niebezpiecznymi substancjami, od 5 do 20 ton każdy [7, 8]. Na ryc. 4 przedstawiono przestrzenne rozmieszczenie wypadków w transporcie drogowym z udziałem towarów niebezpiecznych.

Systematycznie w RP rejestruje się przypadki miejscowych zagrożeń środowiska będących wynikiem nieprzestrzegania zasad obowiązujących w drogowym transporcie towarów niebezpiecznych.

Przez terytorium RP przewożone jest świeże paliwo jądrowe dla Czech, a także do reaktora badawczego w Świerku. Odbytą się także transporty wypalonego paliwa jądrowego z reaktora badawczego MARIA z powrotem do Rosji. **PKP Cargo przewiozło ponad 350 ton paliwa jądrowego.** W ciągu ostatnich dzie-

Kielce i Czechowice-Dziedzice. Of the 300 plants in which toxic agents are produced or used in production processes, around 60 are particularly dangerous. Transporting these agents by road through cities poses substantial risks. Around 40 vehicles carrying hazardous substances, from 5 to 20 tonnes each, pass through cities daily [7, 8]. Figure 4 presents the spatial distribution of road transport accidents involving dangerous goods.

The cases of local environmental hazards resulting from non-compliance with the rules applicable to road transport of dangerous goods are regularly recorded in the Republic of Poland.

Fresh nuclear fuel is transported through the territory of the Republic of Poland to the Czech Republic as well as to the research reactor in Świerk. Also spent fuel from the MARIA research reactor is transported back to Russia. **PKP Cargo has transported more than 350 tonnes of nuclear fuel.** Over the



Rycina 4. Przestrzenne rozmieszczenie wypadków w transporcie drogowym z udziałem towarów niebezpiecznych [9]

Figure 4. Figure 4. The spatial distribution of road transport accidents involving dangerous goods [9]

Legend: Liczba zastępów biorących udział w akcji / number of units deployed; od 2 do 5 zastępów / from 2 to 5 units...;

powyżej 21 zastępów – over 21 units; autostrady – motorways; drogi ekspresowe - expressways; drogi krajowe – national roads

sięciu lat PKP Cargo S.A. zrealizowało łącznie 16 transportów kolejowych świeżego paliwa jądrowego do czeskich elektrowni atomowych. Do tej pory nie zanotowano żadnego wypadku podczas transportu tej substancji, ani na terytorium Polski, ani w Europie, ani nawet w Stanach Zjednoczonych, gdzie odbyło się ponad 3000 takich transportów. Zapewnienie bezpieczeństwa tego rodzaju przewozu możliwe jest nie tylko dzięki poufności i ścisłej ochronie realizowanej przez wiele organów państwowych, ale także dzięki zastosowaniu ciężkich pojemników stalowych, osłon biologicznych i odpowiednio zmodyfikowanych konstrukcji pojemników chroniących przez zderzeniem lub pożarem [10]. Na ryc. 5 przedstawiono kolejowe pojemniki transportowe do paliwa jądrowego.

last decade PKP Cargo S.A. has carried out 16 railway transports of fresh nuclear fuel to Czech nuclear power plants. So far, no accident has been recorded during its transport in Poland, Europe, or even in the United States, where more than 3000 such transports have taken place. Ensuring the safety of such transport is possible not only thanks to confidentiality and strict protection provided by many state authorities, but also owing to the use of heavy steel containers, biological shields and appropriately modified container designs to protect against impact or fire [10]. Figure 5 presents nuclear fuel containers used for transport by rail.



a) b)
Rycina 5. a) Pojemniki transportowe w ramach kontenerowych tworzące razem z paliwem sztuki przesyłki; b) Wagony z ładunkiem po oplandekowaniu [11]
Figure 5. a) Transport casks in container frames and fuel form the packages; b) Wagons with cargo after being covered with tarpaulin [11]

Ze względu na charakter ładunków przewozy materiałów niebezpiecznych stwarzają nieodłączne ryzyko wystąpienia zagrożenia. Awaryjne podczas transportu tego rodzaju ładunków mogą spowodować zagrożenie życia, zniszczenie środowiska naturalnego i dóbr materialnych. Nie dziwi więc, że ładunki te podlegają szczególnym rygorom

w zakresie dopuszczenia do przewozu, doboru opakowań, sposobu załadunku, oznakowania oraz wymagań odnoszących się do kwalifikacji personelu, środków transportu i procedury przewozu [12].

Due to the nature of the goods in question, the transport of dangerous goods presents an inherent hazard. Failures during the transport of such cargo can pose hazards to life, damage the environment and material goods. Therefore it should come as no surprise that those types of cargo are subject to specific restrictions in terms of being admitted to transport, packaging selection, loading method, marking and requirements relating to the qualifications of personnel, means of transport and transport procedure [12].

Zarządzanie informacją CBRN

W zakresie planowania i prowadzenia operacji niezbędne jest, aby dowódca operacyjny lub dowódca sił połączonych dokonał oceny zagrożenia CBRN oraz dostosował zakres realizowanych przedsięwzięć Obrony Przed Bronią Masowego Rażenia do poziomu zagrożenia.

Wykorzystanie środków i możliwości OPBMR wymaga elastyczności, mobilności, szybkiego rozmieszczenia jej sił i środków oraz stałego odtwarzania, a **priorytetem powinno być zarządzanie informacją CBRN** [13].

Zarządzanie informacją CBRN obejmuje ciągłe zbieranie, przetwarzanie, przechowywanie i rozpowszechnianie danych dotyczących systemu OPBMR. Realizowane jest w celu:

- opracowania oceny zagrożenia CBRN,
- planowania rozmieszczenia elementów Systemu Wykrywania Skażeń (SWS),
- alarmowania o skażeniach,
- meldowania o zdarzeniach CBRN,
- **prognozowania zagrożeń oraz ostrzegania przed nimi i powiadamiania o nich,**
- opracowania oceny sytuacji skażeń,
- dowodzenia i kierowania pododdziałami wojsk chemicznych,
- zarządzania ryzykiem,
- planowania wykorzystania środków ochrony przed skażeniami,

CBRN Information Management

As regards planning and conducting operations, it is necessary for the operations commander or joint force commander to evaluate CBRN risk and adjust the scope of the implemented measures of CBRN defence to the threat level.

The utilisation of the measures and potential of CBRN defence requires flexibility, mobility and the quick deployment of its forces and measures, as well as constant restoration, with **CBRN information management becoming a priority** [13].

CBRN information management involves the continuous collection, processing, storage and dissemination of data related to the CBRN defence system. This is undertaken to:

- evaluate CBRN risks,
- plan the locations of the Contamination Detection System elements,
- alarm about contamination,
- inform about CBRN incidents,
- **forecast, warn and notify about risks,**
- assess contamination situations,
- command and direct subunits of chemical troops,
- manage risks,
- plan the use of contamination protection measures,
- plan medical support for troops affected by CBRN agents [13].

- planowania zabezpieczenia medycznego na korzyść wojsk porażonych czynnikami CBRN [13].

Zarządzanie informacją CBRN powinno być określone w stałych procedurach operacyjnych (SOP) stanowiska dowodzenia i ściśle dostosowane do położenia operacyjnego oraz konkretnej misji lub zadania. Zadania w zakresie zarządzania informacją CBRN realizowane są w ramach SWS funkcjonującego w SZ.

W przypadku zagrożeń CBRN, a więc zupełnie niekonwencjonalnych przypadków użycia siły, będziemy mieli do czynienia z zastosowaniem prognozy zmiennych, dla których nie są znane wartości rzeczywiste, co z natury przekreśla możliwość ich dokładnego wyznaczenia. Dlatego tak ważna jest ocena sytuacji w ośrodkach analizy skażeń.

Prowadzenie rozpoznania skażeń

Zasady ogólne

Zgodnie z dokumentem doktrynalnym *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A)* podstawowym zadaniem systemu OPBMR są: **rozpoznanie, identyfikacja i monitoring skażeń**. – Obejmują one wykrycie zdarzeń CBRN, identyfikację jakościowo – ilościową czynnika rażącego, określenie rejonów skażeń oraz monitorowanie zmian w sytuacji skażeń [13].

Rozpoznanie skażeń to działanie mające na celu stwierdzenie faktu wystąpienia zdarzenia CBRN lub obecności czynnika CBRN w środowisku. Realizowane jest poprzez obserwację, wykrywanie oraz szczegółowe rozpoznanie skażeń.

1. **Obserwacja** to systematyczne śledzenie przestrzeni powietrznej, obszarów naziemnych, ludzi, zwierząt oraz materiałów. W tym celu wykorzystywane są przyrządy obserwacji wzrokowej, dźwiękowej, elektronicznej, dokumentowania fotograficznego lub inne urządzenia służące do stwierdzenia obecności lub braku zagrożenia CBRN.
2. **Wykrywanie** to działanie mające na celu potwierdzenie faktu wystąpienia zdarzenia CBRN lub obecności czynnika CBRN.
3. **Rozpoznanie szczegółowe** to działanie podejmowane w celu określenia rodzaju i poziomu skażeń w rejonie potwierdzonego wystąpienia skażeń lub prognozowanego rejonu skażeń. Może obejmować również pomiar warunków meteorologicznych, pobieranie próbek materiałów skażonych.

Rozpoznanie skażeń powinno być przygotowane i realizowane stosownie do poziomu zagrożenia, a sprzęt i procedury działania powinny zapewnić natychmiastowe alarmowanie o obecności czynników CBRN [13].

Sprawne działanie systemu rozpoznania skażeń jest warunkowane precyzyjnym wykonaniem następujących zadań: wykrycie skażenia, identyfikacja skażeń, oznaczenie terenu skażonego, pobranie skażonych próbek i ich analiza oraz meldowanie o wynikach rozpoznania. Wykonanie w krótkim czasie wszystkich zadań rozpoznania skażeń pozwoli na zminimalizowanie negatywnych skutków skażeń. Szczególnie ważna jest szybka detekcja, gdyż jest to pierwsze ogniwo obrony przed skażeniami.

CBRN information management should be defined in standing operational procedures (SOP) of the command post and specifically adapted to the operational situation and specific missions or tasks. Tasks involved in CBRN information management are carried out within the Contamination Detection System of the Armed Forces.

In the case of CBRN risks, i.e. completely unconventional cases of using force, it is necessary to forecast variables for which real values are not known, which, generally, makes it impossible to determine them accurately. This is why the assessment of the situation in contamination analysis centres is so important.

Undertaking Contamination Reconnaissance

General principles

Pursuant to the doctrine document entitled *Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A)* [Defence against weapons of mass destruction in joint operations], the primary tasks of the CBRN defence system are the **reconnaissance, identification and monitoring of contamination**. These include detecting CBRN incidents, identifying the destructive agent in qualitative and quantitative terms, and determining the contaminated areas as well as monitoring changes in contamination [13].

Contamination reconnaissance is aimed at determining the occurrence of a CBRN incident or the presence of a CBRN agent in the environment. It is carried out through observation, detection and detailed contamination reconnaissance.

1. **Observation** entails the systematic monitoring of airspace, land, people, animals and materials. For this purpose, instruments for visual, audible and electronic observation as well as for photographic documentation or other devices are used to determine the presence or absence of CBRN risks.
2. **Detection** is aimed at confirming the occurrence of a CBRN incident or the presence of a CBRN agent.
3. **Detailed reconnaissance** is an action undertaken to determine the type and severity of contamination in the region in which contamination has been confirmed or forecast. It can also include the measurement of meteorology and sampling of contaminated materials.

Contamination reconnaissance should be prepared and conducted according to the level of risk, and the equipment and operating procedures should ensure immediate alerting about the presence of CBRN agents [13].

The effective operation of the reconnaissance system is conditional on the following tasks being performed accurately: contamination detection, contamination identification, marking the contaminated area, collection and analysis of contaminated samples and reporting on the results of the reconnaissance. Performing all contamination reconnaissance tasks in a short period of time will minimise the negative impact of contamination. Quick detection is particularly important as it is the first link in the protection against contamination.

Według ATP-3.8.1. VOL I: detekcja (rozpoznanie), identyfikacja i monitoring skażeń (DIM) umożliwiają dowódcom podejmowanie w odpowiednim czasie właściwych działań po ataku CBRN lub uwolnieniu toksycznych środków przemysłowych TSP (toxic industrial material – TIM) z jednoczesnym ostrzeżeniem innych zagrożonych jednostek. Detekcja (rozpoznanie), identyfikacja i monitoring skażeń są niezbędne do szybkiego rozpoznania incydentów CBRN, charakteryzowania, analizy i określania zagrożeń, wyznaczania obszarów skażenia i monitorowania zmian w czasie. Zdolność detekcji jest niezbędna do rozpoznania obecności zagrażających zdrowiu lub życiu stężeń substancji chemicznych lub czynników biologicznych, lub materiałów promieniotwórczych przed ich negatywnym wpływem na osiągnięcie misji i szybkie dostarczenie informacji, które pozwolą siłom na przyjęcie odpowiedniego poziomu indywidualnej i/lub zbiorowej ochrony przed skażeniami [14].

Za realizację powyższego celu, z uwagi na toksyczny charakter większości substancji chemicznych oraz toksyczny i patogenny czynników biologicznych, odpowiedzialne jest wyposażenie techniczne umożliwiające wykrycie CBRN i toksycznych zagrożeń przemysłowych w określonym krótkim czasie, aby podjąć działania zapobiegawcze [14].

Zadania szczegółowe rozpoznania skażeń

Według doktryny DD/3.8(A) za zadania rozpoznania skażeń uważa się sześć przedsięwzięć: detekcję, oznakowanie terenu skażonego, pobieranie próbek materiałów skażonych, identyfikację skażeń, meldowanie o skażeniach oraz monitoring skażeń [13].

Pierwszym z wymienionych przedsięwzięć jest detekcja skażeń. Jest to przedsięwzięcie najważniejsze, gdyż to właśnie od detekcji zaczyna się cały proces rozpoznania skażeń. Główne cele procesu detekcji (wykrywania) skażeń to stwierdzenie obecności zagrażających zdrowiu stężeń czynników chemicznych lub biologicznych, lub materiałów radioaktywnych, zanim wywrą one negatywny wpływ na realizację misji (alarmowanie) oraz szybkie dostarczenie informacji, które pozwolą siłom na przyjęcie odpowiedniego poziomu indywidualnej ochrony (ostrzeżenie) [14]. Wykrycie (stwierdzenie) ataku bronią masowego rażenia lub zdarzenia związanego z uwolnieniem toksycznych środków przemysłowych pozwala na podjęcie kolejnych kroków zmierzających do pozyskania pełnej informacji o tych zdarzeniach. Najczęściej istnieje możliwość wykrycia efektów zdarzeń CBRN, przejawiających się w postaci skażeń terenu, obiektów, ludzi lub wyposażenia.

Do detekcji skażeń wykorzystywane są całe systemy lub pojedyncze przyrządy o różnym stopniu zaawansowania technicznego i technologicznego. Od detektorów zasadniczo oczekuje się, aby pełnił jedynie funkcję ostrzegania. W celu ochrony personelu przed zagrażającymi zdrowiu czynnikami CBRN funkcja wykrywania musi być wystarczająco czuła, aby reagować na najbardziej toksyczne zagrożenia i umożliwić personelowi podjęcie odpowiednich środków ochronnych oraz działań zapobiegawczych.

Kolejnym zadaniem realizowanym w ramach rozpoznania skażeń jest oznakowanie terenu skażonego. Jego celem jest ostrzeżenie wojsk i ludności o naturze i zasięgu skażeń w danym

According to ATP-3.8.1. VOL I: detection (reconnaissance), identification and monitoring of contamination (DIM) make it possible for commanders to make timely decisions about relevant actions following a CBRN attack or release of toxic industrial materials (TIM) and simultaneous alerting of other units at risk. Contamination detection (reconnaissance), identification and monitoring are necessary to quickly detect CBRN incidents, characterise, analyse and determine risks, demarcate contaminated areas and monitor change over time. Detection capacity is necessary to identify the presence of concentrations of chemicals or biological agents, or radioactive materials which pose a risk to health or life, and prevent their adverse effects on mission success. Also necessary is the rapid provision of information which will allow forces to adopt an appropriate level of individual and/or collective protection against contamination [14].

Due to the toxic nature of most chemicals and the toxic and pathogenic nature of biological agents, the aforementioned objective is facilitated by the technical equipment which detects CBRN and toxic industrial risks within a specified short period of time. This allows taking preventive action [14].

Specific tasks of contamination reconnaissance

Pursuant to Doctrine DD/3.8(A) six measures are regarded as contamination reconnaissance tasks: detection, marking of contaminated sites, sampling of contaminated materials, contamination identification, contamination reporting and contamination monitoring [13].

The first of these measures is the contamination detection. This is the most important of the aforementioned measures, as the whole process of contamination reconnaissance starts with detection. The main objectives of the contamination detection process are to identify the presence of concentrations of chemical or biological agents or radioactive materials which pose a risk to health before they can have a negative impact on the mission (alerting) and to quickly provide information so that forces can adopt an adequate level of personal protection (warning) [14]. Detecting (ascertaining) an attack with a weapon of mass destruction or an incident related to the release of toxic industrial agents makes it possible to take subsequent measures aimed at obtaining full information about such events. It is usually possible to detect the effects of CBRN incidents, manifested in the form of contamination of terrain, objects, people or equipment.

Entire systems or individual instruments, characterised by various levels of technical and technological advancement, are used to detect contamination. As regards detectors, in principle they are expected to serve only the warning role. In order to protect personnel from CBRN agents which pose health risks, the detection function must be sensitive enough to respond to the most toxic threats and allow personnel to take appropriate protective measures and preventive actions.

Another task carried out within the contamination reconnaissance is the marking of contaminated areas. Its task is to warn the army and population of the nature and extent of contamination in a given region. The detailed procedures of marking contaminated sites are described in STANAG 2002

rejonie. Szczegółowe procedury oznakowywania terenu skażonego przedstawiono w Stanagu 2002 i publikacji FM 3-11.19 [15, 16]. Zgodnie z nimi charakter i natura skażeń określona jest za pomocą specjalnie przygotowanych znaków ostrzegawczych.

Kolejnym zadaniem w ramach rozpoznania skażeń jest pobieranie próbek materiałów skażonych. Zadanie to jest wykonywane w sytuacji, gdy informacje uzyskane z bezpośredniej detekcji nie są wystarczające do zidentyfikowania rodzaju środka skażającego lub w celu weryfikacji oraz wsparcia decyzji dotyczących ochrony, zapobiegania i leczenia. W takich przypadkach pobrane próbki skażonego materiału przekazywane są do analizy laboratoryjnej, gdzie poddane zostaną procesowi szczegółowej identyfikacji. Pobieraniem próbek zajmują się pododdziały rozpoznania skażeń – zespoły SIBCRA, które swoje zadania wykonują w dużo większym zakresie i na ogół w innym celu [17].

Identyfikacja skażeń to kolejne zadanie w ramach rozpoznania skażeń. Jest realizowana bezpośrednio po wykryciu skażenia. Jej celem jest szybkie, a przede wszystkim wiarygodne ustalenie rodzaju środka skażającego. Ze względu na konstrukcję i sposób działania większości przyrządów do rozpoznania skażeń możliwa jest przybliżona identyfikacja grupy środków skażających (np. G, H w przypadku BST). Jest ona zwykle bezpośrednio połączona z detekcją skażeń. Informacje o rodzaju środka i szacunkowym jego stężeniu odczytuje się z przyrządu. Aby określić je dokładnie, konieczne jest pobranie i przekazanie próbek skażonych materiałów do odpowiednich laboratoriów.

Kolejnym zadaniem w ramach rozpoznania skażeń jest meldowanie o skażeniach i zdarzeniach CBRN. Jest ono realizowane przez pododdziały rozpoznania skażeń lub inne źródła informacji działające w ramach systemu wykrywania skażeń (SWS) [18].

Przekazywanie informacji o zdarzeniach CBRN oraz skażeniach realizowane jest w formie ściśle określonych i sformalizowanych meldunków CBRN. Istnieje sześć zasadniczych meldunków, numerowanych od 1 do 6, oraz trzy meldunki meteorologiczne.

W ramach rozpoznania skażeń wykorzystywane są jednak tylko dwa: meldunek CBRN 1 o uderzeniach BMR i zdarzeniach typu ROTA oraz meldunek CBRN 4 o wykrytych skażeniach. Oba meldunki mogą zawierać różnorodne informacje zależne od rodzaju ataków BMR oraz ilości posiadanych informacji. Ze względu na znaczny stopień sformalizowania istnieje duże prawdopodobieństwo tego, iż przekazywana informacja będzie pełna. Ze względu na możliwość pomyłki pojedyncze meldunki o każdym zdarzeniu nie stanowią jeszcze informacji, która dałaby podstawę do podjęcia odpowiednich działań. Dopiero po otrzymaniu kilku kolejnych meldunków są one ostatecznie weryfikowane i stają się podstawą do opracowania prognozowanej lub rzeczywistej sytuacji skażeń [19, 20, 21, 22].

Końcowym zadaniem w zakresie rozpoznania skażeń jest monitorowanie. Jest to ciągły lub okresowy proces określania, czy zagrożenie CBRN występuje, czy nie. Monitorowanie przeprowadza się dla personelu, wyposażenia lub w terenie w celu stwierdzenia obecności zanieczyszczeń i zatwierdzenia ich odkażenia. Monitorowanie pomaga dowódcy w określeniu elementów ochrony indywidualnej i zbiorowej [23].

Reasumując wątek zadań rozpoznania skażeń, można uznać, iż wszystkie zadania znajdują się w pewnym porządku

and publication FM 3-11.19 [15, 16]. According to these procedures, the nature of contamination is determined using specially prepared warning signs.

Another task conducted within the contamination reconnaissance is the sampling of contaminated materials. This task is performed when the information obtained from direct detection is not enough to identify the type of contaminant or to verify and support decisions on protection, prevention and treatment. In such cases, the collected samples of contaminated materials are forwarded for laboratory analysis, where they are subjected to detailed identification. The samples are collected by SIBCRA teams, contamination reconnaissance sub-units, which perform their tasks in a much greater scope and generally for different purposes [17].

Contamination identification is another task carried out under contamination reconnaissance. It is conducted directly after contamination has been detected. Its objective is to quickly and, more importantly, reliably identify the type of contaminant. Owing to the design and manner of operation of most contamination reconnaissance devices, it is possible to approximately identify the group of contaminants (e.g. G, H in the case of BST). It is usually directly linked to contamination detection. Information on the type of product and its estimated concentration are taken from the instrument. In order to determine this information accurately, samples of contaminated materials must be collected and handed over to appropriate laboratories.

Another task conducted within the contamination reconnaissance is reporting about contamination and CBRN incidents. It is carried out by contamination reconnaissance sub-units or other sources of information within the contamination detection system (CDS) [18].

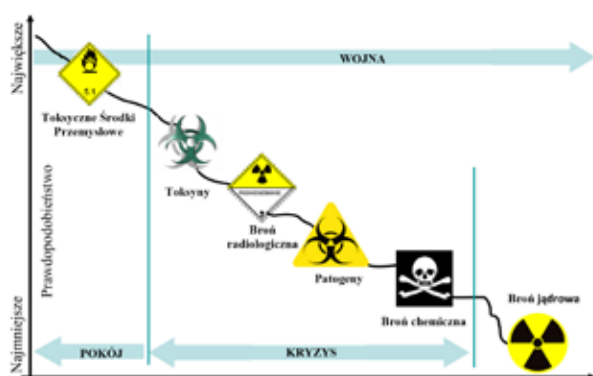
Information about CBRN incidents and contamination is transferred in the form of specifically determined and formalised CBRN reports. There are six basic reports, numbered from 1 to 6, and three meteorological reports.

However, only CBRN 1 report on WMD strikes and ROTA events and CBRN 4 report on detected contaminations are used in contamination reconnaissance. Both reports may contain various information depending on the type of WMD attack and the amount of information available. Due to the significant degree of formalisation, it is highly probable that the information provided will be complete. As the possibility of an error is still there, individual reports on an incident are not yet considered the information based on which appropriate measures can be taken. Only after receiving several consecutive reports are they ultimately verified and become the basis for the preparation of a forecast or actual contamination situation [19, 20, 21, 22].

Monitoring is the last step in respect of contamination reconnaissance. It is an ongoing or periodical process of determining the presence of CBRN risks. Monitoring is conducted for personnel, equipment or in the field to detect contaminants and authorise their decontamination. Monitoring helps the commander to determine the personal and collective protection equipment needed [23].

Summing up the issue of contamination reconnaissance, it can be stated that all activities follow a certain cause-effect

przyczynowo-skutkowym, dzięki czemu możliwe jest możliwe szybkie zebranie pełnych danych o atakach BMR i skażeniach oraz zdarzeniach z udziałem toksycznych środków przemysłowych. Mimo to zwykle okazuje się, że okoliczności i warunki prowadzenia rozpoznania skażeń narzucają pewne ograniczenia i z tego powodu jeden sposób prowadzenia rozpoznania skażeń może być mało skuteczny. Aby sprostać tym potrzebom w literaturze przedmiotu można spotkać różnorodne metody i techniki rozpoznania skażeń, ale zawsze najważniejszy będzie czas i wyposażenie techniczne, jak również przewartościowaniu musi ulec prawdopodobieństwo wystąpienia zagrożeń – ryc. 6.



Rycina 6. Prawdopodobieństwo użycia składowych broni masowego rażenia [24]

order, which makes it possible to collect full data on WMR attacks, contamination and incidents involving toxic industrial agents as quickly as possible. Despite this, it is usually the case that the circumstances and conditions of contamination reconnaissance force certain restrictions, which is why employing a single way of conducting contamination reconnaissance may not be very effective. In order to meet these needs, the literature presents various methods and techniques of contamination reconnaissance, but the most important thing will always be the time and technical equipment, as well as evaluation of the likelihood of risks – Figure 6.

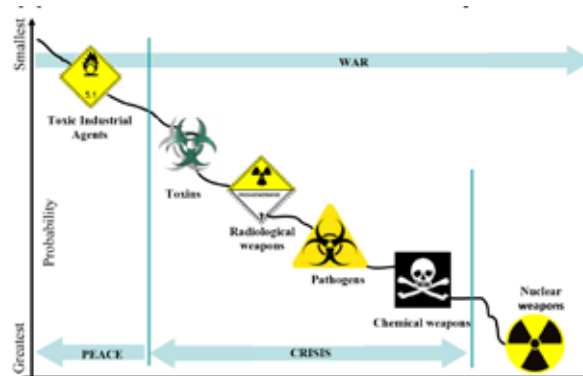


Figure 6. The probability of using the components of weapons of mass destruction [24]

Metody i techniki rozpoznania skażeń

Obserwacja jest pierwszą i zarazem najprostszą metodą każdego rozpoznania. Do jej prowadzenia nie są potrzebne ani wyrafinowane środki techniczne, ani skomplikowane procedury, wystarcza bowiem zwykle dobry wzrok lub proste środki optyczno-elektroniczne. Podobnie jest w przypadku, gdy obserwacja jest traktowana jako metoda rozpoznania skażeń. W tym kontekście za obserwację uważa się „systematyczne obserwowanie przestrzeni powietrznej, powierzchni ziemi, miejsc, osób lub rzeczy w sposób wzrokowy, słuchowy, elektroniczny, fotograficzny lub przy użyciu innych środków” [25].

Polowe rozpoznanie skażeń to najbardziej typowa, a jednocześnie najbardziej zróżnicowana metoda rozpoznania skażeń. Zgodnie z procedurami polowe rozpoznanie skażeń może być prowadzone zarówno przed, jak i w trakcie działań, w całym obszarze operacji. Podstawowym jego celem jest zdobywanie informacji, które mogą być przydatne do niedopuszczenia do skażenia wojsk własnych i ludności cywilnej. Wśród posiłkiwanych informacji mogą być zarówno dane o uderzeniach BMR przeciwnika, jak i dane o wykrytych skażeniach lub dane meteorologiczne.

Ze względu na różnorodność technik i rodzajów tej metody rozpoznania skażeń zadania tego typu powinny być prowadzone przez pododdziały wszystkich rodzajów sił zbrojnych, głównie przy użyciu etatowych przyrządów rozpoznania skażeń. Natomiast zadania wymagające znacznego zaawansowa-

Contamination reconnaissance methods and techniques

Surveillance is the first-choice and simplest method of any reconnaissance operation. The method does not require any sophisticated technologies or complex procedures, since usually it is enough to have good eyesight or use simple optoelectronic devices. Surveillance can be equally effective when used as a method of contamination reconnaissance. In this context, surveillance is considered „the systematic observation of aerospace, surface and subsurface areas, places, persons and things by visual, aural, electronic, photographic or other means” [25].

Field reconnaissance is the most typical and also the most varied method of detecting contamination. According to the procedures, field reconnaissance of contamination can be conducted both before and during the operations within the entire operation area. Its primary aim is to obtain information which might be useful in preventing contamination among the friendly troops and civilians. This information might include data on enemy WMD attacks and detected contamination, or meteorological data.

Given the variety of techniques and types of contamination reconnaissance methods involved, such tasks should be assigned to all types of armed forces and involve the use of primarily standard unit-level equipment for contamination reconnaissance. However, tasks requiring highly advanced technological measures will be performed by the chemical corps.

nia technicznego będą wykonywane przez pododdziały wojsk chemicznych.

Rozpoznanie skażeń trasy jest działaniem zmierzającym do uzyskania informacji o skażeniach, zbieranych wzdłuż określonych linii komunikacyjnych (drogi, szlaki kolejowe, korytarze terenowe zdolne do przerzutu wojsk).

Rozpoznanie strefy jest przedsięwzięciem zmierzającym do uzyskania szczegółowych informacji o skażeniach w ustalonej strefie. Jest przydatne szczególnie, gdy dotychczasowe dane są ograniczone, albo gdy istnieją przesłanki świadczące o możliwości wystąpienia skażeń lub pojawiły się meldunki o skażeniach [25, 26].

W ramach polowego rozpoznania skażeń można stosować różnorodne techniki rozpoznania. Wybór konkretnej techniki zależy będzie od terenu i przeciwnika, ale także od poziomu wymaganej szczegółowości danych. W propozycjach zawartych w podręczniku FM 3-11.19 do najbardziej użytecznych zalicza się techniki: zygzaku, liniową oraz liścia koniczyny.

Szczegółowe rozpoznanie skażeń to wysiłek zmierzający do określenia natury i stopnia skażeń chemicznych, biologicznych i radiologicznych w obszarze potwierdzonego lub podejrzanego skażenia oraz do wyznaczenia granic terenu skażonego. Może obejmować monitoring dawek promieniowania lub obecności skażeń chemicznych, lub biologicznych, a ponadto pobieranie próbek obiektów podejrzanych o skażenie [27]. Z definicji wynika, iż jest to działalność podejmowana w sytuacji, gdy pododdziały i jednostki muszą lub będą musiały realizować swoje zadania na terenie skażonym.

Zazwyczaj będą go przekraczać, omijać lub z niego wychodzić. W odróżnieniu od polowego rozpoznania skażeń jest to wysiłek ukierunkowany na uzyskanie bardzo szczegółowej informacji o skażeniach, zwłaszcza w zakresie rozmiaru i natury terenu skażonego. Po oznaczeniu zasięgu skażenia cały obszar jest oznakowywany, a informacja o skażeniu przesyłana do wszystkich zainteresowanych.

Należy postawić pytanie: czy SWS SZ RP ma możliwości techniczne do realizacji powyższych zadań?

Hipotetyczna analiza przypadku: W październiku 2014 zakłady azotowe w Puławach wprowadziły do użytku stokaż amoniaku. Jego pojemność to 22 000 m³, co w przeliczeniu na masę, daje możliwość zmagazynowania 15 000 ton ciekłej substancji. Zakład położony jest we wschodniej części kraju, w województwie lubelskim, na północ od miasta Puławy.

Założenie: zbiornik uległ uszkodzeniu i nastąpiło niekontrolowane uwolnienie amoniaku.

W SZ RP wykorzystuje się programy, które oparte są na Metodocyce oceny sytuacji skażeń chemicznych, biologicznych i promieniotwórczych [21] oraz na komunikatach otrzymywanych z posterunków obserwacji skażeń. Metodyka ta zakłada wykorzystanie schematów i algorytmów w celu ustalenia potencjalnego zagrożenia. Wynikiem pracy pakietu grafiki operacyjnej i programu SI Promień lub programu Analysis jest obszar skażenia naniesiony na mapę. Informacja dla systemu może pochodzić np. od służb ratunkowych zakładu. Program wykonuje bardzo przybliżone zagrożenie i zobrazuje je na mapie – ryc. 7 [28].

Route reconnaissance involves obtaining information on contamination along specific transport routes (roads, railway, cross-country mobility corridors).

Zone reconnaissance is aimed at obtaining detailed information on contamination in a specific zone. It is particularly useful when existing data are limited, or when there is a reasonable threat of contamination, or when contamination has been reported [25, 26].

Field reconnaissance operations might be based on a variety of techniques. The ultimate choice will depend on the terrain and enemy, as well as on how detailed the data should be. According to the FM 3-11.19 manual, the most useful techniques include the zigzag search, lane search and cloverleaf search techniques.

Contamination identification is an effort to determine the nature and degree of chemical, biological and radioactive contamination in the area of a confirmed or suspected contamination, and to define the boundaries of the contaminated area. This might include monitoring radiation intensities or chemical or biological contamination, and also collecting samples of materials suspected of being contaminated [27]. By definition, sampling takes place when sub-units or units have to, or will have to operate in a contaminated area.

Usually, they will cross, bypass or leave the area. As opposed to field reconnaissance, this effort aims at obtaining highly detailed information on contamination, including in particular the size and nature of the contaminated area. Once the range of contamination is determined, the area is marked and all information on contamination is reported.

The question is: does the Contamination Detection System of the Polish Armed Forces (SWS SZ RP) have the technical capacity to perform the above-mentioned tasks?

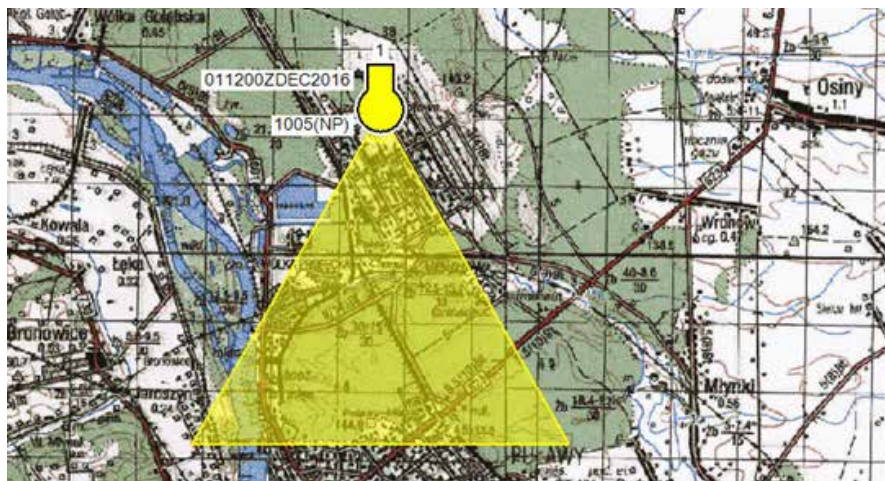
Hypothetical case study: In October 2014 the nitrogen plant in Puławy put into operation an ammonia storage facility. It has a capacity of 22,000 m³, which is an equivalent of 15,000 tonnes of this liquid substance. The plant is located in eastern Poland, in the Lubelskie Province, north of Puławy.

Assumption: the storage facility has been damaged, resulting in an uncontrolled ammonia release.

The Polish Armed Forces have software in place that are based on the Methodology for assessing chemical, biological and radioactive contamination situations [21] and reports from contamination observation points. Under this methodology, patterns and algorithms are used to identify potential hazards. The operational graphics package and SI Promień or Analysis programs map the contaminated area based on the information provided, for instance, by the plant's rescue services. The program will devise and map a very similar hazard – Fig. 7 [28].

Jak można zauważyć, rejon zagrożenia rozciąga się w promieniu 5 km od miejsca uwolnienia. Ponadto można wyodrębnić strefę uwolnienia o promieniu kilkudziesięciu metrów, bardzo słabo widoczną na rycinie. Żółty rejon symbolizuje strefę, w której należy podjąć działania ratownicze. Program nie uwzględnia dokładnej ilości uwolnionej substancji; bierze pod uwagę tylko jedną z czterech klas wielkości zbiornika (mała, średnia, duża

As we can see, the hazard area covers a radius of 5 km from the release site. Also, a release zone with a radius of several dozen kilometres, very poorly visible on the figure, can be defined. The yellow area symbolises the zone where rescue operations should be undertaken. The program does not account for the exact amount of released substance; what it takes into account is only one of the four tank-size classes (small, medium, large



Rycina 7. Rejon zagrożenia skażeniem przy scenariuszu wycieku amoniaku na mapie 1:100000.

Warunki: wiatr wieje z północy z prędkością 5 m/s (18 km/h); zachmurzenie średnie, poniżej 50%; nie występuje inwersja powietrza; wilgotność względna 50%; brak znaczących zjawisk pogodowych; uszkodzeniu uległ duży zbiornik

Figure 7. Area exposed to the hazard of ammonia leak contamination on a 1/100,000 map. Conditions: the wind blows from the north at a speed of 5 m/s (18 km/h); moderate cloud cover; below 50%; there is no inversion of air; relative humidity of 50%; no significant weather phenomena; the large tank has been damaged

i bardzo duża). Zatem prognoza powinna być urealniona danymi z rozpoznania. Należy w tym miejscu odpowiedzieć na pytanie: czy to będzie możliwe?

W symulacji wykonanej za pomocą programu ALOHA² dla 5000 ton amoniaku (max. dla programu) uzyskano max. stężenie amoniaku na poziomie ok. 1,0 g/m³ dla strefy powyżej 32 km². Wynika z tego, że w rejon skażenia nie powinny być wysłane piesze i zmotoryzowane patrole rozpoznania skażeń – z uwagi na krótkie czasy (kilka – kilkanaście minut) ochronnego działania filtropochłaniaczy względem amoniaku [29]. Podobna sytuacja może wystąpić w przypadku skażeń promieniotwórczych. Zatem należałoby poszukać rozwiązań technicznych, które w krótkim czasie mogłyby dostarczyć wiarygodne dane do systemu bez narażania ludzi.

SZ RP w chwili obecnej nie ma takich możliwości.

Rozwiązania techniczne

Chcąc zapewnić wysoką efektywność działania systemu wykrywania, analizy i monitoringu skażeń, ważne jest, żeby SZ RP posiadały detektory skażeń. Wymaga się od nich, aby zagwarantowały odpowiednio wczesne poinformowanie zagrożonych

and very large). Hence, the projection should be adjusted to consider reconnaissance data. The question is, however: will that be possible?

A simulation made using the ALOHA² program for 5,000 tonnes of ammonia (the maximum value for the program) provided the maximum concentration of ammonia at about 1.0 g/m³ for a zone larger than 32 km². This suggests that no foot patrols and motorised contamination reconnaissance patrols should be sent to the contaminated area because filters provide protection against ammonia for a short time ranging from several to a dozen minutes [29]. A similar situation can happen in the event of radioactive contamination. Hence, technological solutions should be sought that could quickly provide the system with reliable data without putting people in danger.

This is currently impossible for the Polish Armed Forces.

Technological solutions

In order to ensure a high effectiveness of the contamination detection, analysis and monitoring system, it is important that the Polish Armed Forces have contamination detectors. These detectors are expected to provide the forces and civilians

² ALOHA program udostępniony przez National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) i U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Pozwala symulować skutki emisji substancji toksycznych, palnych i wybuchowych. Wynikiem obliczeń programu jest długość zasięgu strefy zagrożenia.

² ALOHA program made available by the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) and the U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Designed to simulate the effects of toxic, flammable and explosive substance emissions. The program calculates the range of the hazard zone.

wojsk i ludności o prognozowanym lub aktualnym skażeniu środkiem chemicznym, biologicznym lub promieniotwórczym. W tym celu wykorzystuje się je przed, w trakcie oraz po zdarzeniu związanym z uwolnieniem substancji niebezpiecznej. W pierwszym przypadku ciągła praca detektorów – monitoring – pozwala zapobiegać powstawaniu zdarzeń z udziałem środków CBRN, a także wcześniej powiadamiać zagrożoną ludność o powstałym skażeniu. W trakcie zdarzenia detektory skażeń powinny pozwolić na natychmiastowe ustalenie rodzaju i stężenia uwolnionego środka, a także wielkości skażonego oraz zagrożonego nim obszaru. Dzięki czemu możliwe będzie podjęcie efektywnych działań, w tym założenia indywidualnych środków ochrony. W końcowym etapie – po zdarzeniu – detektory skażeń są używane m.in. w celu potwierdzenia wyników przeprowadzonej wcześniej identyfikacji, a także sprawdzenia efektywności przeprowadzonej likwidacji skażeń.

Istnieje wiele kryteriów, wg których można sklasyfikować wykorzystywany obecnie sprzęt do rozpoznania skażeń. Ze względu na przeznaczenie dzieli się go na ostrzegający (ang. *detect-to-warn*) oraz analityczny (ang. *detect-to-treat*). Biorąc pod uwagę jego mobilność, wyróżnia się natomiast: sprzęt przenośny (transportowany w pojemniku ochronnym), sprzęt pokładowy (zamontowany na stałe, jako wyposażenie pojazdu rozpoznania skażeń) oraz sprzęt przewoźny (wykorzystujący pojazd jedynie jako platformę transportową). Jednym z bardzo często stosowanych kryteriów jest także sposób pobierania próbek, wg którego wyróżnia się detektory wykrywające skażenia znajdujące się z dala od nich oraz detektory wykrywające skażenia znajdujące się w bezpośrednim kontakcie z nimi (ryc. 8). Detektory zdalne ze względu na sposób oddziaływania z badanym środkiem dzielą się na:

- pasywne – opierające się na analizie widma w podczerwieni emitowanego przez badane zjawisko, na podstawie której określa się charakterystyczne jego cechy wskazujące na obecność lub brak skażenia;
- aktywne – wysyłające sygnał, który po oddziaływaniu z badaną materią jest następnie przez nie analizowany w celu określenia charakterystycznych zmian w jego widmie [30].

W przypadku detektorów pobierających i analizujących próbki w miejscu wystąpienia skażenia wyróżnia się detektory wypożyczone (ang. *remote detectors*) oraz detektory punktowe (ang. *point detectors*). W pierwszym przypadku podczas pomiaru skażeń operator obsługuje ręcznie detektor, natomiast w drugim detektor posiada dodatkowy moduł, przez który operator komunikuje się i steruje nim przewodowo lub bezprzewodowo, znajdując się z dala od niego. Należy zauważyć, że detektory pasywne i aktywne, podobnie jak punktowe, mogą być także wyposażone w moduły do zdalnej komunikacji z operatorem.

Stosowane do rozpoznania (wykrywania) detektory, a także sensory opierają się na szeregu różnych metod detekcji bodźca – skażenia w otoczeniu. Zastosowana metoda wykrywania środków chemicznych, biologicznych lub promieniotwórczych ma fundamentalny wpływ na wiarygodność i terminowość uzyskanych dzięki niemu wyników pomiarów. Oceniając dany przyrząd pod tym względem, bierze się pod uwagę jego parametry użytkowe m.in. takie jak:

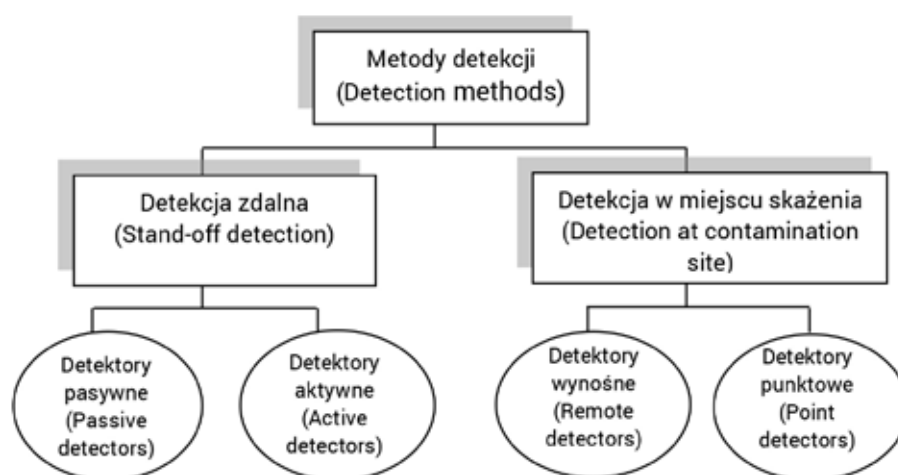
in danger with early warnings about the predicted or existing chemical, biological or radioactive contamination. Thus, these devices should be used before, during and after the hazardous release incident. In the first instance, the continuous monitoring by the detectors can be used to prevent CBRN incidents and to provide civilians in danger with early warning about the contamination. During the incident, the contamination detectors should facilitate instantaneous identification of the type and concentration of the released substance, as well as the size of the area that is contaminated or at risk of contamination. This helps the emergency services to take effective measures, including to put on personal protective equipment. In the last phase, after the incident, contamination detectors are used to corroborate the findings of the preceding identification, and also to check whether the contamination containment measures have been effective.

Multiple criteria exist to classify the hazard detection equipment that is currently in use. Depending on its purpose, a distinction is drawn between detect-to-warn and detect-to-treat equipment. In terms of mobility, this equipment can be portable (transported in a protective container), on-board (permanently installed as standard contamination-reconnaissance vehicle equipment) and mobile (using the vehicle as a transport platform only). One of the very popular criteria is also the sample collection method, distinguishing between contactless (stand-off) detectors and direct-contact detectors (Fig. 8). Depending on their interaction with the examined substance, remote detectors are divided into:

- passive detectors – relying on the spectral analysis of infrared radiation emitted by the examined phenomenon, performed to determine that phenomenon's characteristics indicating whether or not there is any contamination;
- active – sending signals that interact with the examined matter and are subsequently analysed by the detectors to determine any specific spectral changes in the signal [30].

Detectors designed to collect and analyse samples at contamination sites are divided into remote and point detectors. The former is operated manually when measuring contamination, while the latter has an additional module for communication and cable-based or cableless, stand-off control. It should be noted that passive and active detectors, like point detectors, can also be equipped with remote-communication modules.

Reconnaissance detectors and sensors are based on a number of methods to detect the stimulus – contamination in the area. The applied method of chemical, biological and radioactive contamination detection has fundamental implications for the reliability and timeliness of the related measurements. When assessing a device in this respect, its performance parameters are considered, including:



Rycina 8. Podział metod detekcji skażeń ze względu na sposób pobierania próbek [31]

Figure 8. The classification of contamination detection methods according to the method of sampling [31]

- **wykrywalność** – najmniejsze stężenie substancji, które może zostać wykryte daną metodą z założoną pewnością;
- **czułość** – najmniejsza różnica stężenia substancji, którą można wykryć daną metodą;
- **czas odpowiedzi** – czas niezbędny do wykonania pomiaru i analizy próbki;
- **selektywność** – zdolność przyrządu w danych warunkach do wykrycia tylko pewnej grupy analizowanych związków chemicznych lub jonów w obecności innych substancji chemicznych (jonów);
- **swoistość** – stosunek ilości wyników pomiaru fałszywie dodatnich do sumy wyników prawdziwie ujemnych i fałszywie dodatnich. Ilość fałszywych wyników określa się natomiast stosunkiem fałszywych pomiarów (wskazań) do całkowitej liczby przeprowadzonych pomiarów.

W literaturze przedmiotu brak jest informacji nt. dokładnych wymagań taktyczno-technicznych na detektory do wykrywania skażeń. Na potrzeby niniejszego artykułu wykorzystano wymagania dla automatycznych sygnalizatorów skażeń chemicznych zawarte w NO-42-A221:2016 [32], a dla przyrządów dozymetrycznych z NO-42-A204:2014 [33].

W normie określono wymagania dotyczące granicy wykrywalności dla automatycznych sygnalizatorów skażeń chemicznych i stwierdzono między innymi, że:

- 1) Konstrukcja pokładowego lub stacjonarnego automatycznego sygnalizatora skażeń powinna umożliwić wykrycie chloru (Cl_2) i amoniaku (NH_3) jako grupy toksycznych środków chemicznych lub wskazać nazwę danego środka lub jego symbol;
- 2) Konstrukcja automatycznego sygnalizatora skażeń chemicznych powinna umożliwić wykrycie toksycznych środków chemicznych przy stężeniach równych wartości NDS lub niższych³.

³ Amoniak NDS – 14 mg/m^3 – najwyższe dopuszczalne stężenie (NDS) – wartość średnia ważona stężenia, którego oddziaływanie na pracownika w ciągu 8-godzinnego dobowego i przeciętnego tygodniowego wymiaru czasu pracy, określonego w ustawie z dnia 26 czerwca 1974 r. – Kodeks pracy, przez okres jego aktywności zawodowej nie

- **detectability** – the lowest substance concentration that a device can detect with a specified certainty;
- **sensitivity** – the smallest difference in the substance concentration that a device can detect;
- **response time** – the time required for the device to measure and analyse the sample;
- **selectivity** – the ability of the device in certain conditions to detect only a specific group of analysed chemical compounds or ions in the presence of other chemical substances (ions);
- **specificity** – the relationship between false-positive measurement results and the sum of true negatives and false positives. The number of false results is determined by the relationship between false measurements (indications) and the total number of measurements.

The literature on the subject offers no information on the tactical and technical requirements for contamination detectors. This paper relies on the requirements for automated chemical contamination detection and warning devices, as set out in the military standard NO-42-A221:2016 [32], and for dosimetric devices, as set out in the NO-42-A204:2014 [33] standard.

The standard sets out detectability-threshold requirements for automated chemical contamination detection and warning devices, stipulating that:

- 1) On-board or stationary automated chemical contamination detection and warning devices should be designed to detect chlorine (Cl_2) and ammonia (NH_3) as a group of toxicants, or to name the substance concerned or its symbol.
- 2) Automated chemical contamination detection and warning devices should be designed to detect toxicants at concentrations equal to TLV or lower³.

³ Ammonia TLV – 14 mg/m^3 – the threshold limit value (TLV) – the weighted average concentration of a toxicant the exposure to which on an 8h/day and average weekly work time basis – as defined in the Labour Code Act of 26 June 1974 – over a working lifetime should not cause negative health impacts for workers and future generations.

Czy to jest wystarczające kryterium? NDS – 7 mg/m³ w ciągu 8 godzin, czyli ok. 6,7 g/m³ w ciągu 1 minuty, a więc prawdopodobnie nastąpi natychmiastowe przebicie filtropochłaniaczy⁴.

Zatem, aby nie dopuścić do kontaktu ludzi ze skażonym środowiskiem, należałoby wykorzystać np. lotnicze (pilotowe i bezpilotowe) lub zdalne wykrywanie skażeń.

Problemy lotniczego wykrywania skażeń autorzy wstępnie zasygnalizowali w publikacjach [34, 35].

W armiach NATO wykorzystuje się powietrzne rozpoznanie skażeń w głównej mierze w celu określania sytuacji skażeń promieniotwórczych (granic skażonych terenów oraz mocy dawek promieniowania w ustalonych punktach, wysokości, szerokości i kierunku przemieszczania się obłoku promieniotwórczego) w rejonach działań militarnych (obecnych lub planowanych). Głównym powodem jest znaczące ograniczenie ekspozycji na promieniowanie załóg podczas prowadzenia rozpoznania powietrznego niż naziemnego tego samego obszaru oraz dotarcie do miejsc niedostępnych dla naziemnych pododdziałów rozpoznawczych, a także możliwość rozpoznania znacznie większego obszaru przy zachowaniu dystansu od źródła skażenia.

Zdalne wykrywanie skażeń

Zdalne wykrywanie skażeń wykorzystywane jest głównie w sieciach monitoringu skażeń chemicznych i biologicznych powietrza, których celem jest skuteczna ochrona ważnych obiektów infrastruktury państwowej, a także narażonych na skażenie pododdziałów wojsk. Opiera się ono na pomiarach parametrów zjawisk powstałych w wyniku oddziaływania promieniowania elektromagnetycznego z badaną atmosferą. Pomiarów parametrów są prowadzone przy wykorzystaniu metod optycznych, m.in. takich jak metody rozproszeniowe, absorpcyjne, fluorescencyjne oraz metody optyki nieliniowej. Wśród zdalnych metod wykrywania skażeń wyróżnia się metody aktywne oraz pasywne. Aktywne opierają się na pomiarze zjawisk, które powstają w wyniku oddziaływania emitowanego promieniowania przez laser z badanym ośrodkiem (powietrzem). Bardzo często wykorzystuje się pomiar rozproszenia, któremu uległa podająca wiązka lasera. W wykrywaniu skażeń stosuje się także pomiary absorpcji, dyfrakcji, fluorescencji, luminescencji, a także depolaryzacji. W celach pomiarowych emituje się także promieniowanie monochromatyczne o różnych długościach fal. Szeroką grupę urządzeń opartych o metody aktywne stanowią LIDAR-y (Light Detection And Ranging). Większość z nich posiada zdolność wykrywania skażeń chemicznych i biologicznych do 5 km. Dąży się jednak do tego, aby posiadały zasięgi równe docelowo 15–18 km [36]. W zależności od rodzaju zastosowanej metody pomiarowej wyróżnia się m.in. lidary: rozproszeniowe, ramanowskie, absorpcji różnicowej, fluorescencyjne oraz dopplerowskie.

Działanie lidarów rozproszeniowych polega na analizie stopnia rozproszenia promieniowania padającego w badanym powietrzu. W tym celu urządzenie wykorzystuje nadajnik wysyłający impulsy o wysokiej mocy, które po odbiciu od badanego

Is this criterion sufficient? TLV – 7 mg/m³ over 8 hours, or 6.7 g/m³ over 1 minute, thus probably causing instant filter penetration⁴.

Thus, in order to prevent people from exposure to the contaminated environment, aerial (manned or unmanned) or remote contamination detection would have to be used.

A brief discussion of aerial contamination detection measures is provided in [34, 35].

NATO armies employ aerial contamination reconnaissance primarily to identify radioactive contamination situations (boundaries of contaminated areas and radiation intensities at specific points, altitudes, latitudes and directions of radioactive clouds) in and around military operation areas (ongoing or planned operations). The main reason for this is that aerial reconnaissance considerably limits crew exposure to radiation when compared to ground reconnaissance. Furthermore, it facilitates access to areas that would otherwise be inaccessible for ground reconnaissance troops, and also provides the opportunity to reconnoitre much larger areas while remaining at a safe distance from the source of contamination.

Remote contamination detection

Remote contamination detection is used primarily in networks monitoring chemical and biological air contamination, designed to effectively protect essential national infrastructure and troops at risk of contamination. This form of detection is designed to measure the effects of interaction between electromagnetic radiation and atmosphere. The parameters of these effects are measured using optical methods based on diffusion, absorption, fluorescence and non-linear optics. Remote methods to detect contamination include active and passive methods. Active methods involve measuring the effects of interactions between the radiation emitted by the laser and the studied area (air). A very popular approach is to measure the diffusion of the laser beam. Contamination detection also employs absorption, diffraction, fluorescence, luminescence and depolarisation measurements. For measurement purposes, monochromatic radiation of varying wavelengths is emitted as well. LIDAR (Light Detection and Ranging) devices form a broad group of active detection solutions. Most of them can detect chemical and biological contamination within a distance of up to 5 km. However, efforts are made to provide ranges of 15–18 km [36]. Depending on the measurement method, there are diffusion, Raman spectroscopy, differential absorption, fluorescence and Doppler lidars.

Diffusion lidars work by analysing the degree to which the radiation in the examined air is diffused. To do this analysis, the device uses a transmitter sending high-power impulses to be reflected by the examined radioactive cloud and return to the high-sensitivity receiver. Among the institutions involved in the development of this device was the Institute of Optoelectronics at the Military University of Technology. The diffusion lidar facilitates the detection, analysis and

powinno spowodować ujemnych zmian w jego stanie zdrowia oraz w stanie zdrowia jego przyszłych pokoleń.

⁴ Według NO-42-A211 do badań minimalnego czasu przebicia, testowe stężenie amoniaku wynosi 0,7 g/m³, a wymagany czas to 6–12 minut.

⁴ According to the NO-42-A211 standard, the minimum penetration time tests assume ammonia concentration at 0.7 g/m³, and the required time is 6–12 minutes.

obłoku skażenia wracają i trafiają do wysokoczułego odbiornika. Urządzenie tego rodzaju zostało opracowane m.in. w Instytucie Optoelektroniki Wojskowej Akademii Technicznej. Pozwala ono prowadzić detekcję, analizę oraz monitoring wszystkich rodzajów aerozoli powietrznych znajdujących się w odległości do 10 km [36].

Amerykański system LRBSDS (Long Range Biological Standoff Detection System) pozwala na wykrycie chmury aerozolu w promieniu 30 km. Wersja JBSDS (The Joint Biological Standoff Detection System), unowocześniona i w pełni automatyczna wersja LRBSDS, rozróżnia aerozole biologiczne od niebiologicznych oraz pozwala na monitorowanie ruchu chmury. IBADS (The Interim Biological Agent Detection System) umożliwia wstępną identyfikację patogenów na podstawie testów immunochromatograficznych. JPS (The Joint Portal Shields) to wysoce zautomatyzowany system detekcji, również wykorzystujący testy immunochromatograficzne. Całość sterowana przez centralny komputer JBPDS (The Joint Biological Point Detection System) wykrywa obecność cząstek biologicznych w ciągu 60 sekund i pozwala na identyfikację dziesięciu patogenów w przeciągu 20 minut. FLAPS (Fluorescence Aerodynamic Particle Sizer) oprócz szybkiej detekcji wysyła informację do centrów dowodzenia [37].

Opracowany i wdrożony Biological Integrated Detection System (BIDS) w wersji BIDS P31 (ryc. 9) oferuje rozszerzoną, półautomatyczną zdolność wykrywania i identyfikacji substancji biologicznych. Wykorzystuje urządzenia umożliwiające pomiar wielkości aerozolu liczby cząstek oraz fluorescencji biologicznej. W systemie P31 wykorzystywany jest detektor bioluminescencyjny w postaci tandemowego instrumentu pirolizy MS oraz automatyczny przyrząd do analiz immunochromatycznych [38].

monitoring of all types of atmospheric aerosols within a distance of 10 km [36].

Developed in the US, the LRBSDS (Long Range Biological Standoff Detection System) facilitates the detection of aerosol clouds in a radius of 30 km. The JBSDS (Joint Biological Standoff Detection System), an upgraded and fully automated version of the LRBSDS, distinguishes between biological and non-biological aerosols, and facilitates the monitoring of cloud movement. The IBADS (Interim Biological Agent Detection System) allows a preliminary identification of pathogens based on immunochromatographic assays. The JPS (The Joint Portal Shields) is a highly automated detection system that also uses immunochromatographic assays. Controlled by a central computer, the JBPDS (The Joint Biological Point Detection System) detects biological particles within 60 seconds and allows the identification of ten pathogens within 20 minutes. In addition to fast detection, the FLAPS (Fluorescence Aerodynamic Particle Sizer) sends information to command centres [37].

Developed and implemented in the BIDS 31 version (Fig. 9), the Biological Integrated Detection System (BIDS) offers an extended, semi-automatic biological substance detection and identification capability. The system uses devices designed to measure aerosol size, particle count and biological fluorescence. The P31 system uses a bioluminescence detector in the form of a tandem pyrolysis MS instrument and an automated immunochromatographic assay system [38]



Rycina 9. Amerykański system BIDS; widok pojazdu i wnętrza [38]

Figure 9. The US-made BIDS system – the vehicle on the outside and inside [38]

Jednym z często wykorzystywanych przyrządów w zdalnej detekcji skażeń jest lidar absorpcji różnicowej. Pomiary za jego pomocą polegają na emitowaniu dwóch wiązek światła laserowego, nieznacznie różniących się długościami fal, przy czym jedna z nich posiada długość dopasowaną do pasma absorpcji badanego gazu. Po odbiciu od badanego obłoku trafiają one następnie do odbiornika w postaci dwóch różnych sygnałów.

Differential absorption lidar is another popular remote contamination detection device. Measurements using this lidar involve emitting two laser light beams with slightly different wavelengths, with one of them having a wavelength that is adjusted to the absorption band of the examined gas. Reflected by the cloud, these beams reach the receiver in the form of two different signals. The difference in their amplitudes is then used

Na podstawie pomiarów różnicy ich amplitud określa się stężenie badanej substancji w powietrzu. Przyrządem wykrywającym skażenia chemiczne opartym na tej metodzie jest słowacki przyrząd DD-CWA DIAL (ryc. 10). Wyniki jego pomiarów określają średnie stężenie badanego gazu znajdującego się na drodze wiązki laserowej (nie ma możliwości pomiaru stężenia lokalnego w danym miejscu). Posiada on 3 tryby pracy: normalny, zgrubny oraz wysokiej dokładności. W przypadku pracy w trybie wysokiej dokładności czułość przyrządu na całej ścieżce pomiarowej wynosi odpowiednio dla tabunu (GA) – 50 mg/m², arinu (GB) – 150 mg/m², somanu (GD) – 120 mg/m², Vx – 80 mg/m² oraz iperytu siarkowego (HD) – 500 mg/m². Posiada on wbudowany mikrokomputer, który steruje działaniem wchodzących w jego skład podzespołów. Jego maksymalny zasięg pomiarowy wynosi 3 km. Dane mogą być wysłane do zewnętrznego komputera przez port USB. Masa przyrządu wynosi 37 kg [39].

as the basis for determining the atmospheric concentration of the substance concerned. One device for chemical contamination detection based on this method is the Slovak-made DD-CWA DIAL (Fig. 10). DD-CWA DIAL measurements determine the average concentration of the gas along the laser beam path (site-specific concentrations cannot be measured). The device can work in three modes: standard, approximate, and high-precision mode. In the high-precision mode, the device's sensitivity across the measurement path is 50 mg/m² for tabun (GA), 150 mg/m² for sarin (GB), 120 mg/m² for soman (GD) 80 mg/m² for VX and 500 mg/m² for sulfur mustards (HD). It has an integrated microcomputer that controls the device's components. Its maximum measurement range is 3 km. Measurement data can be sent to external computers via a USB port. The device weighs 37 kg [39].



Rycina 10. Lidar absorpcji różnicowej DD-CWA [40]

Figure 10. DD-CWA differential absorption lidar [40]

Oprócz detektorów aktywnych w wykrywaniu skażeń stosuje się także detektory pasywne. Nie wykorzystuje się w nich światła lasera ani innego źródła promieniowania, tylko pomiary emisji promieniowania badanego skażenia występującego w powietrzu. Pomiar metodami pasywnymi w głównej mierze polega na termalnym odróżnieniu skażonej chmury powietrza od otaczającego jej tła (powietrza nieskażonego) przy wykorzystaniu wysokorozdzielczych kamer termowizyjnych wyposażonych w specjalne filtry. Zastosowanie filtrów ma na celu przepuszczanie tylko wąskich zakresów promieniowania odpowiadających pasmom absorpcji badanych gazów, dzięki czemu możliwe jest zaobserwowanie zmian transmisji pochłanianego promieniowania wzdłuż drogi wiązki laserowej. Zaletą detektorów pasywnych w porównaniu do aktywnych jest ich dużo trudniejsze wykrycie ze względu na brak emisji promieniowania. Szeroko stosowany przyrząd rozpoznania skażeń chemicznych opierający wyniki swoich pomiarów na metodzie pasywnej z wykorzystaniem transformaty Fouriera przedstawiono na ryc. 11. Pozwala on wykrywać, monitorować oraz identyfikować (na podstawie porównania otrzymanych widm z widmami zgromadzonymi w bazie danych) BST oraz TSP znajdujące się w postaci aerozoli z odległości 5 km. Przyrząd umożliwia prowadzenie obserwacji 0–360° w poziomie oraz –10°– +50° w pionie przy pomocy kamery, która jest sprzężona z detektorem.

In addition to active detectors, passive detectors are applied to identify contamination. They do not use laser beams or other radiation sources, but radiation emission measurements of the analysed air contamination. The measurement with the use of passive methods consists mainly of the thermal separation of the contaminated air cloud from its background (uncontaminated air) with the use of high-resolution thermal vision cameras with special filters. The role of filters is to pass only low radiation ranges corresponding to the absorption bands of the examined gases, thanks to which it is possible to observe changes in the transmission of the absorbed radiation along the laser beam path. The advantage of passive detectors in comparison to active detectors is that they are much more difficult to detect as they do not emit radiation. A widely applied reconnaissance device for identifying chemical contamination whose measurements are based on the passive method with the use of the Fourier Transform is presented in Fig. 11. The instrument makes it possible to identify (on the basis of comparing the received spectra with those in the database) TWA (toxic warfare agents) and TIC (toxic industrial chemicals) in the form of aerosol from a distance of 5 km. The device enables horizontal observations in the range of 0–360° and vertical observations in the range of –10° – +50° with the use of the camera which is connected with the detector. It is characterised by

Charakteryzuje się on krótkim czasem pomiaru (10–60 sekund), włączania (40 sekund), a także wycelowania przyrządu w dowolny punkt w polu obserwacji (3 sekundy). Może być wykorzystywany jako przyrząd stacjonarny lub być montowany m.in. w pojazdach oraz śmigłowcach rozpoznania skażeń. Należy zauważyć, że nawet podczas ruchu wyniki pomiarów są otrzymywane w czasie zbliżonym do czasu rzeczywistego. Producent informuje, że dzięki zastosowaniu obróbki wyników pomiarów przy pomocy specjalnych programów przyrząd jest nieobciążony błędem. Konstrukcja przyrządu umożliwia także wykonywanie pomiarów w trudnych warunkach środowiskowych. Czułość przyrządu dla poszczególnych BST oraz TSP wynosi odpowiednio: GA – 0,13 ppm, GB – 0,009 ppm, GD – 0,012 ppm, HD – 0,02 ppm, luizyt (L) – 0,03 ppm, fosgen (CG) – 0,01 ppm, SF₆ – 003 ppm, amoniak – 2,5 ppm [41, 42].

short measurement time (10–60 seconds), turn on time (40 seconds) and time of targeting the devices at any selected point in the field of observation (3 seconds). It may be used as a stationary device or installed i.a. in contamination reconnaissance vehicles and helicopters. It should be noted that even in motion the measurement results are obtained in near-real time. The producer claims that due to processing measurement results with special software, the device is error-free. The structure of the device also enables measurements in difficult environmental conditions. The sensitivity of the device for the respective BST and TSP is as follows: GA – 0.013 ppm, GB – 0.009 ppm, GD – 0.012 ppm, HD – 0.02 ppm, lewisite (L) – 0.03 ppm, phosgene (CG) – 0.01 ppm, SF₆ – 003 ppm, ammonia – 2.5 ppm [41, 42].



Rycina 11. Przykład detektora pasywnego s [43]

Figure 11. An example of a passive detector [43]

Lidar przedstawiony na rycinie 12 przeznaczony jest do zdalnej detekcji substancji toksycznych w powietrzu. Urządzenie to może być montowane na statywie lub pojeździe (jako urządzenie przenośne) oraz wykorzystywane stacjonarnie. Daje możliwość pomiaru okrężnego (360°).

The LIDAR presented in Fig. 12 is designed for remote detection of toxic substances in the air. The equipment can be mounted on a stand or a vehicle (as a mobile instrument) or used as a stationary device. It enables 360° measurement.



Rycina 12. Przykład lidar DD – CWA – A[44]

Figure 12. An example of a DD – CWA – A LIDAR [44]

W przypadku niedużych odległości możliwe jest również wykorzystanie platform bezzałogowych. Takie platformy (samobieżne roboty) mogą stanowić wyposażenie transporterów do rozpoznania skażeń. Przykład takiego rozwiązania stanowi czeski kołowy transporter do rozpoznania skażeń „Aligator” wyposażony w samobieżny robot – (ryc. 13) [45].

For small distances it is possible to use unmanned platforms. Such platforms (self-propelled robots) can be part of the equipment of armoured vehicles for contamination reconnaissance. An example of such a solution is the Czech “Aligator” wheeled armoured vehicle for contamination reconnaissance with a self-propelled robot – (Fig. 13) [45].



Rycina 13. Samochód do rozpoznania skażeń S-LOV-CBRN z samobieżnym robotem [46]

Figure 13. The S-LOV-CBRN contamination reconnaissance car with a self-propelled robot [46]

Robot umożliwia prowadzenie rozpoznania skażeń chemicznych, pobieranie próbek oraz przekazywanie obrazu z kamer. Czas użytkowania od 1,5 do 4 h, sterowanie zdalne do 1 km, prędkość rozpoznania do 3,5 km/h [46].

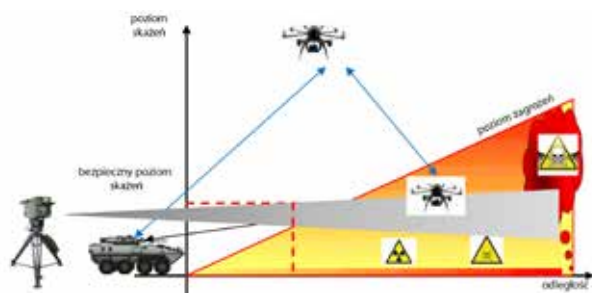
Zdalne rozpoznanie skażeń to kolejne wyzwanie, które można rozwiązać przy wykorzystaniu określonych technologii optoelektronicznych, ale i obecnie coraz częściej bezzałogowych aparatów latających. Przyszłość pokaże, czy zastosowanie dronów poszerzy zdolność oceny skażeń i pozwoli na uzyskanie efektu synergii.

Obecnie jednak korzyści z zastosowania inteligentnych automatów widać na przykładzie BSP (Bezpilotowe Statki Powietrzne), gdzie ekonomia opracowania i eksploatacji wyraźnie jest korzystniejsza w wypadku takiego robota. Najnowsza technika autonomicznych rojów zmierza do zwiększenia ich możliwości bojowych poprzez tworzenie różnorodnych zespołów BSP. Możliwości każdego BSP składać się będą na wartość całego zespołu zadaniowego, co daje większą elastyczność w wykorzystaniu i eliminację przynajmniej części wad dotychczas stosowanych systemów. Współpracujące ze sobą BSP wymieniają pozyskane indywidualnie dane, wzajemnie się nadzorują, przesyłają bardziej szczegółowe dane i są zdolne na raz współpracować z wieloma systemami walki przy niższych kosztach eksploatacji. Na ryc. 14 przedstawiono wizualizację możliwości systemu z wykorzystaniem środków bezzałogowych.

The robot makes it possible to recognise chemical contamination, collect samples and transmit camera feed. Its operation time is from 1.5 to 4 h, remote control range is up to 1 km, and reconnaissance speed up to 3.5 km/h [46].

Stand-off contamination reconnaissance is another challenge which can be met with the application of specific optoelectronic technologies, and currently much more often of unmanned aircraft systems. The future will show whether the use of drones will expand the capabilities of assessing contaminations and reaching synergy.

However, currently the benefits of using smart automated systems can be observed on the example of UAV (Unmanned Aerial Vehicles), where design and operation of such robots is clearly more economical. The most recent autonomous robot swarms technology is aimed at increasing their combat capabilities by creating heterogeneous UAV systems. The capabilities of each UAV will contribute to the value of each task force, which ensures greater flexibility in use and makes it possible to eliminate at least some of the weak points of the systems applied so far. Cooperating UAVs exchange their individual data, supervise each other, transmit more detailed data and are able to simultaneously collaborate with two combat systems with lower operation costs. Fig. 14 presents a visualisation of the capabilities of the system using unmanned vehicles.



Rycina 14. Wizualizacja możliwości systemu rozpoznania skażeń [35]

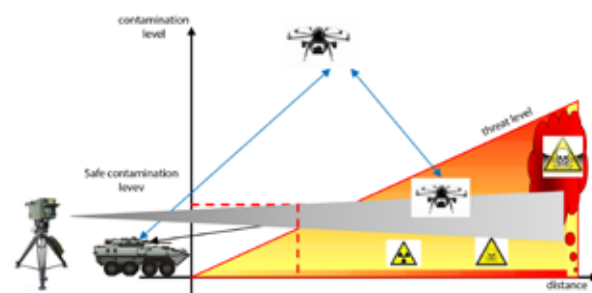


Figure 14. Visualisation of the capabilities of the pollution identification system [35]

Oczywiście automatyzacja i robotyzacja nie ogranicza się do zapewniania tym systemom możliwości samodzielnego myślenia wyłącznie przy wykorzystaniu zaawansowanej techniki komputerowej. Są i inne badane obecnie możliwości, takie jak wykorzystanie żywej tkanki nerwowej czy materiałów syntetycznych.

Automation and robotisation is obviously not limited to providing these systems with the possibility of autonomous thinking solely with the use of advanced computing technology. Other options are being investigated, such as the use of live nervous tissue or synthetic materials. The first robots controlled

Powstały już pierwsze roboty sterowane kilkuset tysiącami żywych neuronów pobranych z mózgu różnych zwierząt. Mamy również odwrotne sytuacje, gdy sztuczny mózg kieruje działaniem żywego organizmu. Powstały pierwsze biboty, czyli rodzaj robotów w części zbudowanych z materiału biologicznego.

Same komputery (nawet te najbardziej zaawansowane) wymagają też wielu systemów wsparcia pozwalających im na zdobywanie informacji o otoczeniu pracy czy warunkach związanych z realizacją konkretnych zadań stawianych przed wyposażone w nie systemy walki. Inteligentne automaty, roboty pola walki czy złożone systemy uzbrojenia mogą w znaczący sposób zmienić oblicze przyszłych wojen. Przede wszystkim mogą znacznie ograniczyć, dzisiaj społecznie nieakceptowalne, duże straty w ludziach oraz wydatnie zmniejszyć nakłady przeznaczane na utrzymywanie i klasyczne wyposażenie armii. Zbudowanie nowoczesnego czołgu, z zaawansowanymi systemami ochrony dla ludzi go wykorzystujących, może już wkrótce okazać się dużo bardziej skomplikowane i na pewno droższe, niż zbudowanie roju inteligentnych robotów przeznaczonych do monitorowania zagrożeń pochodzących od działalności człowieka, a zwłaszcza zagrożeń CBRN.

Przegląd projektów środków bezpilotowych wskazuje, że istnieje niekwestionowana tendencja przenoszenia rozpoznania na coraz niższe szczeble, w tym nawet dla pojedynczego żołnierza (Mikro-BSP czy robot plecakowy), który własny środek rozpoznawczy nosi ze sobą, a używa go do rozpoznania celów za przeszkodami terenowymi. W ten sposób, mając rozpoznanie w głąb przedpola, żołnierz minimalizuje własne ryzyko i maksymalizuje efekt oddziaływania przez posiadanie przewagi informacyjnej.

Ponadto możliwa jest zdalna detekcja skażeń oraz pełna automatyzacja pomiarów poprzez zintegrowanie różnych systemów elektrooptycznych w procesie akwizycji, przetwarzania i transmisji danych. Połączenie różnych technik pomiarowych i czujników (np. spektrometry ruchliwości jonów, detektory półprzewodnikowe, elektrochemiczne, układy akustooptyczne, światłowodowe itp.) znacznie rozszerza możliwości pomiarowe optoelektronicznych systemów monitoringu skażeń, zapewniając wysoką dokładność i jednoznaczność wyników pomiarów. W wyniku prowadzonych w Wojskowej Akademii Technicznej od kilku lat prac obliczeniowych, analitycznych i eksperymentalnych określone zostały podstawowe widma fluorescencyjne i absorpcyjne bojowych środków chemicznych i biologicznych, widma absorpcyjne BST i TSP w zakresie podczerwieni oraz wpływ na pomiary oraz detekcję skażeń chemicznych i biologicznych typowych składników atmosfery, ze szczególnym uwzględnieniem pary wodnej, tlenu i dwutlenku węgla. Kluczowy dla projektowania, wykonania i badań zdalnych systemów detekcji gazów i aerozoli, oprócz znajomości ich widm absorpcji, fluorescencji i emisji, staje się wybór odpowiednich substancji symulujących substancje toksyczne – symulantów, nieszkodliwych do tego stopnia, że mogą być wykorzystane na otwartym terenie do badań budowanych systemów.

Bardzo ciekawym rozwiązaniem są platformy z zestawem czujników do detekcji np. poziomu skażeń promieniotwórczych. Platforma desantowa jest ze śmigłowca lub samolotu w terenie skażonym lub podejrzanym o skażenie. Czas eksploatacji (zależny od zastosowanych akumulatorów) wynosi ok. 24 h – ryc. 15.

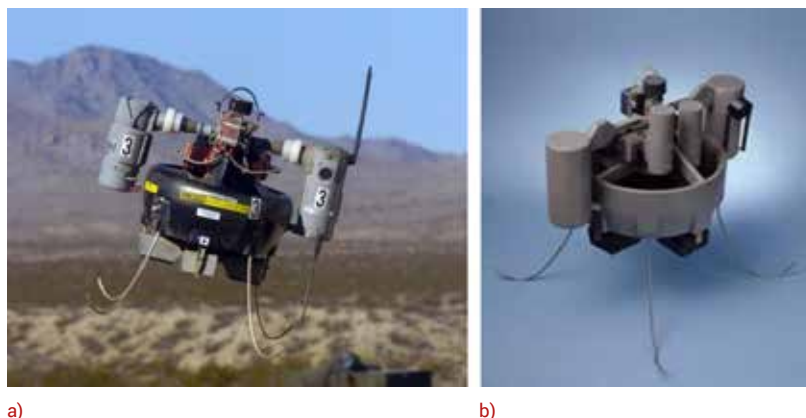
with several hundred thousand live neurons acquired from the brains of various animals have already been developed. There are also opposite cases, where an artificial brain controls a live organism. The first bio-bots were created, which are robots partly composed of biological materials.

Computers themselves (even the most advanced) also require numerous support systems enabling them to gather information on their work environment and the circumstances related to the implementation of specific tasks generated by combat systems equipped in such computers. Smart automated systems, battlefield robots and comprehensive armament systems can transform future combat operations. First of all, they can considerably limit high human losses, which nowadays are socially unacceptable, and substantially reduce expenditures on the maintenance and standard equipment of the army. Building a state-of-the-art tank with advanced protection systems for its operators may soon turn out much more complicated and expensive than creating a swarm of smart robots designed for monitoring threats related to human activity, especially CBRN.

The review of unmanned systems shows that there is an unquestionable tendency to move reconnaissance to lower levels, even to individual soldiers (micro-UAVs or backpack robots), who carry their reconnaissance systems with them and use them for the recognition of targets behind terrain obstacles. In this way, being able to detect hazards far in the foreground, soldiers minimise their risk and maximise the impact of their action through information advantage.

Furthermore, the stand-off detection of contamination and full automation of measurements is possible through integrating various electro-optical systems in data acquisition, processing and transmission. A combination of various measurement techniques and sensors (e.g. ion-mobility spectrometers, semiconductor and electro-chemical detectors, acoustic-optical and optical fibre systems, etc.) substantially expands the measurement capabilities of optoelectronic systems of contamination monitoring, ensuring high accuracy and equivalence of results. Computational, analytical and experimental research carried out for several years at the Military University of Technology has enabled to specify the basic fluorescence and absorption spectra of chemical and biological warfare agents, the absorption spectra of TNA and TIC in the infrared range, and the impact of typical atmospheric constituents, in particular vapour, carbon oxide and carbon dioxide, on the measurements and detection of chemical and biological contamination. The current key factor for the design, performance and testing of the stand-off gas and aerosol detection systems, in addition to information on their absorption, fluorescence and emission spectra, is the selection of appropriate substances simulating toxic substances (simulants), which are harmless enough to be used in open spaces for testing the developed systems.

Platforms with sets of sensors for detecting e.g. the level of radioactive contamination, are a very interesting solution. The platform is thrown down from a helicopter or aircraft in a contaminated area or space suspected of being contaminated. Operation time (depending on batteries used) is approx. 24 h – Fig. 15.



a)

b)

Rycina 15. Platformy do wykrywania skażeń promieniotwórczych: a) Micro Air Vehicle [47], b) Organic Air Vehicle [48]

Figure 15. Platforms for detecting radioactive contamination: a) Micro Air Vehicle [47], b) Organic Air Vehicle [48]

Podsumowanie

W latach osiemdziesiątych XX wieku ukształtował się zasób wiedzy dotyczącej zagrożeń pochodzących od broni masowego rażenia i niebezpiecznych substancji chemicznych i promieniotwórczych pochodzenia przemysłowego. Nieustanny rozwój tych środków spowodował, że przedmiot badań uległ rozszerzeniu. Szczególne zagrożenie od patogenów i aerozoli promieniotwórczych powstałych po awarii reaktorów jądrowych ujawniły różne problemy natury obronnej i ochronnej.

W celu efektywnej ochrony ludności przed skażeniami potrzebna jest odpowiednia ilość sił i środków, które pozwolą m.in. szybko wykryć, zidentyfikować i monitorować skażenia oraz szybko o nich zaalarmować. W RP powołano Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania. Jego utworzenie powinno zapewnić współpracę oraz interoperacyjność działania organów oraz jednostek układu militarnego i pozamilitarnego w ramach tzw. reagowania kryzysowego – ochrony infrastruktury krytycznej. Bardzo pożądane byłoby ujednolicenie metodyk i procedur działania, np. dzięki zastosowaniu identycznych formatów meldunków i informacji o skażeniach oraz procedur ich przekazywania, a także jednolitego obiegu i jednolitej wymiany informacji o skażeniach – planów współdziałania.

Zadanie zarządzanie informacją CBRN obejmujące ciągłe zbieranie, przetwarzanie, przechowywanie i rozpowszechnianie danych dotyczących skażeń dla KWSiA. W szczególności SWS nie powinno być zadaniem instrukcyjnym, ale elementem wprowadzonym do systemu. Podstawowymi zadaniami powinny być: opracowanie hipotetycznej oceny zagrożenia i prognozowanie zagrożeń na terytorium kraju na podstawie danych dotyczących przechowywanych (magazynowanych) TSP w zakładach dużego ryzyka i zwiększonego ryzyka. Na podstawie hipotetycznych zagrożeń będzie możliwe np. rozmieszczenie dodatkowych (uzupełniających lub wykorzystanie istniejących, ale włączonych do systemu) elementów SWS, zarządzanie ryzykiem, a w konsekwencji ułatwienie podejmowania odpowiednich decyzji. To oznacza, że powinny powstać jednolite dla KWSiA procedury oraz zawsze newralgiczny algorytm przekazywania danych.

Istniejący w RP system wykrywania skażeń jest anachroniczny w porównaniu z rozwiązaniami istniejącymi w NATO. Powi-

Summary

The knowledge resources on threats generated by weapons of mass destruction and hazardous chemical and radioactive substances of industrial origin were established in the 1980s. However, the constant development of these substances has led to an extension of the subject of research. Specific threats caused by pathogens and radioactive aerosols created after nuclear reactor failures have disclosed various defence- and protection-related problems.

For the effective protection of the population from contamination, an appropriate means and resources are necessary to i.a. rapidly detect, identify and monitor contamination and to establish an effective warning system. The National System for Contamination Detection and Alarm was created in Poland (KWSiA), which should ensure cooperation and interoperability between military and non-military bodies under the so-called crisis response for the protection of critical infrastructure. It would be desirable to standardise the methodologies and procedures of operation, e.g. through the application of identical formats of reporting and information about contamination and the procedures of communicating them, and a consolidated circulation and exchange of information on contamination – cooperation plans.

The CBRN information management task, which encompasses the constant collection, processing, storage and dissemination of data on contamination for KWSiA. The SWS contamination detection system in particular should not be limited to an instructional task but an element introduced in the system. The primary tasks should include the development of hypothetical threat assessment and forecasting on the country's territory on the basis of TIC data stored in upper-tier establishments and lower-tier establishments. On the basis of hypothetical threats, it will be possible e.g. to deploy additional (supplementary, or use the existing ones included in the system) contamination detection systems, and to manage risk, consequently leading to improved decision-making. This means that uniform procedures for KWSiA should be created, together with the data transfer algorithm, which is always problematic.

The contamination detection system in place in Poland is outdated as compared to solutions existing in the NATO. It should be

nien zostać przebudowany z uwzględnieniem środków automatycznych. Wzorem PSP do systemu rozpoznania powinny zostać wprowadzone środki bezpilotowe (BSP) oraz urządzenia lidarowe. BSP mogłyby być wykorzystane w rejonach, gdzie występuje skażenie, lidary na środkach ruchomych do oceny skażeń chemicznych i biologicznych z odległości, a stacjonarne – np. do zabezpieczenia infrastruktury krytycznej państwa oraz imprez masowych. W sytuacjach, gdy będzie konieczność pobrania próbek, zadanie to wraz z elementem rozpoznania powinny wykonywać sterowane z odległości roboty. Należy zaznaczyć, że wszystkie elementy techniczne są dostępne w kraju, a obserwuje się brak spójności w działaniach Państwowego Monitoringu Środowiska, Państwowej Straży Pożarnej– Służby Ochrony Państwa oraz SZRP.

restructured to include automated solutions. Following the example of the State Fire Service, the reconnaissance system should include unmanned aerial systems (UASs) and lidars. UASs could be used in contaminated areas, and lidars on mobile equipment to assess chemical and biological contamination from a distance, and stationary devices – for instance to secure the critical infrastructure of the State and for mass events. In cases when samples are needed, the task, including reconnaissance elements, should be performed by remote-controlled robots. It should be emphasised that all technical elements are available in Poland, but a lack of consistency is observed in the operations of the State Environment Monitoring System, the State Fire Service – the State Protection Service and the Polish Armed Forces.

Wnioski

1. Na terytorium RP istnieje realne zagrożenie skażeniami powstałymi po niekontrolowanym uwolnieniu wysoko toksycznych substancji chemicznych z ponad 400 zakładów przemysłowych, mogących być potencjalnymi źródłami poważnych awarii. Uwolnienie do środowiska może zostać spowodowane czynnikami naturalnymi (takimi jak huragany, powodzie, trzęsienia ziemi) lub przez człowieka w sposób nieświadomy (np. przez błąd ludzki) lub świadomy (np. jako akt terroryzmu). W analizie nie można pominąć zagrożeń od reaktorów jądrowych znajdujących się przy granicach RP oraz od patogenów.
2. System Wykrywania Skażeń SZ RP jest niespójny proceduralnie z analogicznymi rozwiązaniami istniejącymi w NATO. W NATO preferowane są systemy zautomatyzowane oparte o najnowsze osiągnięcia techniki, a w SZ RP „ręczne” z wyposażeniem technicznym z minionej epoki.
3. Zarządzanie informacją CBRN nie powinno być tylko zapisem instrukcyjnym, ale rzeczywistym elementem systemu OPBMR, a zadanie opracowanie oceny i prognozowanie zagrożeń powinno być zadaniem wyprzedzającym wykonanym na podstawie aktualnych stanów magazynowych w zakładach i być przyczynkiem do planowania rozmieszczenia elementów Systemu Wykrywania Skażeń.
4. System rozpoznania skażeń, wzorem rozwiązań istniejących w armiach NATO, powinien opierać się o środki automatyczne np. typu lidar, dron, robot lub ich połączeń – dron z lidarem, robot z lidarem lub desantowana mikropaleta (z zestawem czujników, systemem analizy i przekazywania sygnału) o określonym czasie eksploatacji (np. 24 h) typu amerykańskiego Organic Air Vehicle.

Conclusions

1. In the Republic of Poland there is a real threat of contamination caused by uncontrolled release of highly toxic chemical substances from over 400 industrial plants, which can be potential sources of serious failures. Such release can be caused by natural factors (such as hurricanes, floods, earthquakes) or by people in an unintentional (e.g. human error) or deliberate way (e.g. acts of terrorism). The analysis must take into consideration the threats associated with nuclear reactors located near Polish borders and with pathogens.
2. The Contamination Detection System of the Polish Armed Forces does not comply in terms of procedures with the corresponding solutions used in the NATO. The NATO automated systems are preferred based on cutting-edge technological achievements, and the Polish Armed Forces rely on outdated manual technical equipment.
3. CBRN information management should not be limited to an instructional task, but constitute an actual element of the CBRN defence, and the task of developing threat assessment and forecasting should be done in advance on the basis of the current stocks in plants, and contribute to planning the deployment of Contamination Detection System elements.
4. The Contamination Detection System, following the example of the solutions existing in the NATO, should be based on automatic equipment, e.g. lidars, drones, robots, and the combinations of drones with lidars, robots with lidars, or thrown-down micropallets (with sets of sensors, analysis and signal transmission systems) with a specific operation time (e.g. 24 h), such as the US Organic Air Vehicle.

Wykaz skrótów / List of abbreviations

ATP	allied tactical publication
BMR	broń masowego rażenia
WMD	weapon of mass destruction
CBRN	chemiczna, biologiczna, radiologiczna i nuklearna / chemical, biological, radiological and nuclear weapon

BST	bojowe środki trujące (G – paralityczno-drgawkowe; H – nekrozuje): tabun (GA), sarin (GB), soman (GD), iperyt siarkowy (H), luizyt (L) / Poison Warfare Agents
¹³⁷ Cs	izotop cezu / isotope of caesium
DIM	Detection, Identification, Monitoring of contamination

EJ	elektrownia jądrowa	ROTA	Release Other Than Attack
NPP	nuclear power plant	RP	Rzeczpospolita Polska / Republic of Poland
¹³¹ I	izotop jodu / isotope of iodine	SIBCRA	Sampling and Identification of Biological, Chemical and Radiological Agents
KWSiA	Krajowy System Wykrywania Skażeń i Alarmowania / The National System for Contamination Detection and Alarm	SOP	stałe procedury operacyjne / standing operational procedures
LIDAR	Light Detection and Ranging	SWSSZRP	Systemu Wykrywania Skażeń w SZ RP / Contamination Detection System of the Polish Armed Forces
mSv	milisiwert / millisievert	TIM	toxic industrial materials
MW	megawatt / megawatt	TSC	toksyczne substancje chemiczne / toxic chemicals
NATO	Organizacja Traktatu Północnoatlantyckiego / North Atlantic Treaty Organization	SZ RP	Siły Zbrojne Rzeczypospolitej Polskiej / Polish Armed Forces
NBC	nuclear, biological, chemical / nuklearna, biologiczna, chemiczna	TSP	toksyczne środki przemysłowe
NDS	najwyższe dopuszczalne stężenie	TIC	toxic industrial chemicals
TLV	the threshold limit value	²³⁵ U	izotop uranu / isotope of uranium
PKP	Polskie Koleje Państwowe / Polish State Railways	ZDR	zakład dużego ryzyka
OPBMR	Obrona Przed Bronią Masowego Rażenia / Chemical, Biological, Radiological and Nuclear Defence	UTE	upper-tier establishment
PSP	Państwowa Straż Pożarna / State Fire Service	ZZR	zakład zwiększonego ryzyka
		LTE	lower-tier establishment

Literatura / Literature

- [1] Raport o stanie bezpieczeństwa w Polsce w 2016 roku, MSWiA, s. 300, <https://bip.mswia.gov.pl/bip/> [dostęp: 06.2018].
- [2] Elektrownie jądrowe wokół Polski, <https://www.darlowo.pl/pl/?-page=wiadomosci&wiadomosc=2897https://www.google.com/search?q=elektrownie+j%2C4%85drowe+u+s%2C4%85siad%2C3%B3w+polski>, [dostęp: 12.2018].
- [3] Palijczuk D., *System rozpoznania skażeń promieniotwórczych wojsk lądowych w aspekcie wymogów NATO*, rozprawa doktorska, AON 2001.
- [4] Harmata W. i in., *Ekspertyza naukowo-techniczna w zakresie wymagania długoterminowego – EG 4405 „Udoskonalone środki ochrony przed bronią masowego rażenia (NBC)”*, sygn. WICHIR-O-NIW-837/2002.
- [5] Jaworowski Z., *Jak to z Czarnobylem było*, „Wiedza i Życie” 1996, 5.
- [6] Tarski I., *Ekonomia i organizacja transportu międzynarodowego*, PWE, Warszawa 1993.
- [7] Kopczewski R., Nowacki G., Zakrzewski B., *Zagrożenia chemiczne i ekologiczne podczas przewozu drogowego towarów niebezpiecznych*, „Bezpieczeństwo i ekologia”, 2017, 9.
- [8] *Wykonywanie zadań przez administrację publiczną w zakresie bezpieczeństwa przewozu towarów niebezpiecznych*, <https://www.nik.gov.pl/> [dostęp: 06.2018].
- [9] Pająk M., Madej M., Ozimina D., Milewski K., *Wypadki w transporcie drogowym towarów niebezpiecznych – analiza zdarzeń z lat 2010–2015*, „Bezpieczeństwo i ekologia”, 2016, 10.
- [10] https://www.plk-sa.pl/files/public/user_upload/pdf/Akty_prawne_i_przepisy/Instrukcje/Wydruk/Instrukcja_o_postepowaniu_przy_przewozie_koleja_towarow_niebezpiecznych_lr-16_21_12_17.pdf [dostęp: 01.2019].
- [11] Murawiec J., *Transport kolejowy paliwa jądrowego przez terytorium Polski – tranzyt*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2011.
- [12] Durski W., *Identyfikacja przyczyn pierwotnych powstawania zagrożeń w transporcie materiałów niebezpiecznych*, „Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej”, 2008, Nr 63.
- [13] Obrona przed bronią masowego rażenia w operacjach połączonych DD/3.8(A), Ministerstwo Obrony Narodowej, Centrum Doktryn i Szkolenia Sił Zbrojnych Szkol. 869/2013.
- [14] ATP-3.8.1. VOL I – CBRN Defence on operations, January 2010, The agreement of NATO nations to use this publication is recorded in STANAG 2521, chapter 7 detection, identification and monitoring.
- [15] Stanag 2002 Warning sing for the marking of nuclear, biological and chemical contaminations, Brussels 2006.
- [16] Multiservice tactics, techniques, and procedures for nuclear, biological, and chemical reconnaissance, FM 3-11.19, 2004.
- [17] AEP-66 NATO Handbook for sampling and Identification of biological, chemical, and radiological agents (SIBCRA), North Atlantic Treaty Organization, 2009.
- [18] Instrukcja Systemu Wykrywania Skażeń w Siłach Zbrojnych RP, sygn. OPChem. 391/2004.
- [19] ATP-45(C) Reporting Nuclear Detonations, Biological and Chemical Attacks, and Predicting and Warning of Associated Hazards and Hazards Areas (Operators Manual), December 2005 (STANAG 2103).
- [20] Metodyki oceny sytuacji skażeń promieniotwórczych, biologicznych i chemicznych, MON, Warszawa, 2013., sygn. OPChem. 392/2002.
- [21] ATP-45(D) Metodyki oceny sytuacji skażeń promieniotwórczych, biologicznych i chemicznych, sygn. Chem. 408/2013.
- [22] Multiservice Tactics, Techniques, and Procedures for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Contamination Avoidance, FM 3-11.3/MCWP 3-37.2A/NTTP 3-11.25/AFTTP(I) 3-2.56, C1, Headquarters Department of the Army United States Marine Corps United States Navy United States Air Force Washington, DC, 30 April 2009.
- [23] AJP-3.8 Edition A Version 1 – Allied Joint Doctrine for Chemical, Biological, Radiological, and Nuclear Defence, NATO Standardization Agency (NSA), 2012.
- [24] Solarz J., *Ryzyko Zagrożeń chemicznych, biologicznych i radiologicznych*, „Zeszyty Naukowe AON”, 2010, 1(78), 134–144.
- [25] Multiservice tactics, techniques, and procedures for nuclear, biological, and chemical reconnaissance, FM 3–11.19, 2004.
- [26] Solarz J. i in., *Rozpoznanie skażeń we współczesnych uwarunkowaniach. Cz. I. Potrzeby i możliwości rozpoznania skażeń w czasie pokoju, kryzysu i wojny*, CS OPBMR SZ RP, AON, Warszawa 2011.

- [27] Harmata W., *Ochrona przed skażeniami, cz. V, Wybrane zagadnienia organizacyjne i techniczne rozpoznania skażeń*, WAT, Warszawa 2018 (materiały niepublikowane).
- [28] Dziadok M., *Koncepcja naziemnego rozpoznania skażeń z wykorzystaniem transporterów*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2017.
- [29] Harmata W. i in., *Typoszerzeg filtropochłaniaczy do ochrony zbiorowej z uwzględnieniem zagrożeń chemicznych i biologicznych OBOL*, Sprawozdanie z badań partii prototypowej typoszerzeregu filtropochłaniaczy FPT-100 I FPT-200, sygn. WICHiR ONIW nr 1214/2006.
- [30] Mierczyk Z., *Optoelektroniczne systemy monitorowania zagrożeń*, wystąpienie na V Konferencji Naukowo-Technicznej Zastosowania technik obserwacji Ziemi, Zielonka 2010.
- [31] Pietrzak G., *Koncepcja systemu powietrznego wykrywania skażeń z wykorzystaniem środków bezpilotowych*, praca dyplomowa, WAT, Warszawa 2016.
- [32] NO-42-A221:2016 Sprzęt do wykrywania skażeń chemicznych. Automatyczne sygnalizatory skażeń chemicznych. Wymagania techniczne.
- [33] NO-42-A204:2014 Wojskowe przyrządy dozymetryczne. Ogólne wymagania techniczne.
- [34] Harmata W., Witczak M., Pietrzak G., *Koncepcja rozwiązań technicznych systemu powietrznego wykrywania skażeń wykorzystującego statki bezzałogowe*, BiTP Vol. 48 Issue 4, 2017, pp. 14–32.
- [35] Harmata W., Witczak M., Pietrzak G., *Aerial detection of contamination with the use of unmanned vehicles – development prospects*, "Scientific Journal of the Military University of Land Forces" 2018, 50, 1(187), 5–24.
- [36] Mierczyk Z., Zygmunt M., Gawlikowski A., Gietka A., Knysak P., Młodzianko A., Muzal M., Piotrowski W., Szopa M., Wojtanowski J., *Dwubarwny LIDAR rozproszeniowy do zdalnego wykrywania aerozoli*, Biuletyn WAT, vol. LVIII, Nr 1, 2009, s. 33–45.
- [37] Suchorab A., *Broń biologiczna*, Prezentacja multimedialna, <http://slideplayer.pl/slide/435207/> [dostęp: 12.2017].
- [38] <https://fas.org/man/dod-101/sys/land/bids.htm> [dostęp: 01.2019].
- [39] Materiały reklamowe Stand - off Detector of Chemical warfare agents model DD-CWA-S (tripod verzion) / model DD-CWA-A (vehicle verzion) Military Research Institute SK-03101 Liptovský Mikuláš.
- [40] <https://www.cbrneportal.com/active-cwa-stand-off-detection/> [dostęp: 01.2019].
- [41] <https://www.bruker.com/products/cbrne-detection/ft-ir/rapid-plus-rapidplus-control-20-vom/overview.html> [dostęp: 01.2016].
- [42] Beil A., *Real time remote detection and cloud imaging of CWA and TIC using high speed FTIR systems*, Fifth Joint Conference on Standoff Detection for Chemical and Biological Defense, Virginia 2001.
- [43] *RAPIDplus and RAPIDplus Control 2.0 VOM (Video Overlay Mode)*, www.bruker.com/products/cbrne-detection/ft-ir/rapidplus-rapidplus-control-20-vom/overview.html [dostęp: 04.2016].
- [44] *Acronyms Abbreviations & Terms A Capability Assurance Job Aid*, www.fema.gov/pdf/plan/prepare/faatlist07_09.pdf [dostęp: 04.2018].
- [45] Res B., Tomek M., *Souprava lehkého obrněného vozidla S-Lov-CBRN*, „Biuletyn WICHiR” 2014, 43(1).
- [46] *Radiální, biologické a chemické vozidlo LOV-CBRN*, <http://www.armadinoviny.cz/radiacni-biologicke-a-chemicke-vozidlo-lov-cbrn.html> [dostęp: 06.2018].
- [47] *Micro air vehicle*, Wikipedia, CC-SA 3.0, https://en.wikipedia.org/wiki/Micro_air_vehicle [dostęp: 05.2018].
- [48] *Organic Air Vehicle (OAV)*, <http://defense-update.com/20050921-mav-oav.html> [dostęp: 05.2018].

DR HAB. INŻ. WŁADYSŁAW HARMATA – w roku 1978 ukończył studia na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Jest profesorem na Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Specjalność – ekologia, likwidacja skażeń, ochrona przed skażeniami. Współautor 9 patentów krajowych oraz 20 wdrożeń do SZ RP. Jest autorem (współautorem) ok. 400 oryginalnych pracach naukowych, 6 monografii i podręczników akademickich.

GENERAL BRYGADY /R/ MGR. INŻ. MAREK WITCZAK – w roku 1978 ukończył studia na Wydziale Chemii i Fizyki Technicznej Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie. Jest profesorem wizytującym na Wydziale Nowych Technologii i Chemii WAT. Specjalność – ochrona przed skażeniami. Współautor wielu opracowań z Obrony Przed Bronią Masowego Rażenia. Specjalizuje się w zakresie wojskowych metod rozpoznania skażeń chemicznych i radiologicznych ze szczególnym uwzględnieniem zagadnień wykorzystania bezpilotowych aparatów rozpoznania i wykrywania skażeń. Zajmuje się też oceną sytuacji skażeń w oparciu o systemy informatyczne dla potrzeb SZRP.

WŁADYSŁAW HARMATA, D.SC., ENG. – graduated in 1978 from the Faculty of Chemistry and Technical Physics, Military University of Technology in Warsaw. A professor at the Faculty of Chemistry and New Technologies, the MUT; specialism: ecology, decontamination and protection against contamination. He has co-authored 9 national patents and 20 implementations for the Polish Armed Forces. He is the author (or co-author) of approx. 400 original scientific studies, 6 monographs and academic coursebooks.

BRIGADIER GENERAL /R/ MAREK WITCZAK, M.SC., ENG. – graduated in 1978 from the Faculty of Chemistry and Technical Physics, Military University of Technology in Warsaw. A visiting professor at the Faculty of Chemistry and New Technologies, the MUT; specialism: protection against contamination. He has co-authored numerous studies on Chemical, Biological Radiological and Nuclear Defence. He specialises in military methods of chemical and radiological contamination recognition, with particular consideration of the use of unmanned reconnaissance systems and contamination detection. His interests also include contamination assessment on the basis of IT systems for the purposes of the Polish Armed Forces.



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.

mgr inż. Mariusz Dobrowolski^{a)}, dr hab. inż. Tadeusz Maciak, prof. PB^{a)}*

^{a)}Politechnika Białostocka / Białystok University of Technology

*Autor korespondencyjny / Corresponding author: t.maciak@pb.edu.pl

Oprogramowanie CrowdSim do modelowania dynamiki pieszych

CrowdSim – Pedestrian Dynamics Modeling Software

Программное обеспечение CrowdSim для моделирования пешеходных потоков

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest zaprezentowanie autorskiego oprogramowania **CrowdSim** służącego do modelowania dynamiki pieszych. W oprogramowaniu zaimplementowano algorytm bazujące na dwuwymiarowym modelu automatu komórkowego Cellular Automata (**CA**). Uwzględniono w nich strategiczne możliwości pieszych dotyczące wyboru wyjścia (**model CA-A**) oraz możliwości powstawania zatorów płynności ruchu i blokad (**model CA-B**). Zaimplementowanie różnych pod względem złożoności modeli dało możliwości porównania ich efektywności, funkcjonowania oraz stopnia realizmu otrzymywanych wyników.

Projekty i metody: W celu lepszego i bardziej wiarygodnego wyznaczania ścieżek poruszania się pieszych zaproponowano dwie modyfikacje usprawniające działanie algorytmów symulacyjnych. Pierwszą z nich było wprowadzenie zaawansowanych algorytmów rankingu komórek: **SRA** (Simple Ranking Algorithm), **BFS-RA** (Breadth First Search Ranking Algorithm) i **ARA** (Advanced Ranking Algorithm). Wartość rankingu danej komórki w procesie symulacji jest dla każdego z aktorów wyznacznikiem drogi, po której się porusza. Kolejnym autorskim usprawnieniem było wprowadzenie do definicji automatu komórkowego pojęcia **pamięci aktora**, dzięki czemu piesi podczas symulacji, pamiętając swoje ostatnie ruchy, poruszają się bardziej płynnie i realistycznie.

Wyniki: Na potrzeby porównania modeli przygotowana została specjalna mapa budynku o wymiarach kontyngencji 40 na 22,5 metra (900 m²) zdolnego pomieścić maksymalnie 3000 osób. Przeprowadzone symulacje wykazały, że w przypadku modelu **CA** aktorzy gromadzą się przy jednym z wyjść, podczas gdy pozostałe zostają w większości nieużywane. Wynika to z faktu, że w modelu **CA** brakuje funkcji kosztu, zatem aktor zawsze wybiera wyjście najbliższe. Inaczej sprawa ma się w przypadku modelu **CA-A**. Tu aktorzy w miarę równo obciążają każde z wyjść; są oni w stanie podjąć decyzje odnośnie do wyboru wyjścia nie tylko na podstawie odległości, ale również zagęszczenia osób przy danym wyjściu. W przypadku porównania modeli **CA-A** i **CA-B** praktycznie niezauważalne są różnice w otrzymanych statystykach obciążenia wyjść. Dopiero po bliższym przyjrzeniu się ruchowi aktorów podczas symulacji widać, że jeśli w przypadku czystego modelu **CA-A** ludzie poruszają według idealnego porządku, o tyle w modelu **CA-B** zauważalne są chwilowe blokady i zakleszczenia aktorów.

Wnioski: Stworzone i zaprezentowane w niniejszej pracy oprogramowanie **CrowdSim** może posłużyć zarówno projektantom, architektom lub konstruktorom, jak i służbom porządkowym, ochronie danego obiektu lub organizatorom imprez masowych. Symulacje wykonane wielokrotnie dla jednego scenariusza przy różnych parametrach wejściowych uwidoczniają problemy i wąskie gardła mogące pojawić się w trakcie ewakuacji z zagrożonego obiektu. Przeprowadzanie takich symulacji na etapie projektowym może bardzo pozytywnie wpłynąć na bezpieczeństwo osób użytkujących dany obiekt, jak również poprawić jego funkcjonalność.

Słowa kluczowe: ewakuacja, modelowanie, automat komórkowy

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 14.12.2018; Zrecenzowany: 19.12.2018; Zatwierdzony: 21.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Dobrowolski – 0000-0001-6496-0789; T. Maciak – 000-0001-9058-1272;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 46–66, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.3>;

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

ABSTRACT

Aim: The aim of the article is to present **CrowdSim**, proprietary software for modeling the dynamics of pedestrians. The software offers algorithms based on a 2-dimensional model of a Cellular Automaton (**CA**). They include strategic pedestrian choices of the exit (**CA-A model**) and the formation of blockages (**Model CA-B**). Implementation of various models in terms of their complexity provided the opportunity to compare their efficiency, functioning and realism of the results obtained.

Project and methods: In order to better and more credibly determine pedestrian paths, two modifications were proposed to improve the operation of simulation algorithms. The first of these was the introduction of advanced algorithms ranking cells: **SRA** (Simple Ranking Algorithm), **BFS-RA** (Breadth First Search Ranking Algorithm) and **ARA** (Advanced Ranking Algorithm). The value of the ranking of a given cell in the simulation process is for each

of the actors the determinant of the path on which it moves. Another proprietary improvement was the introduction of the concept of *actor's memory* to the definition of a cellular automata, thanks to which pedestrians, while remembering their last movements, move more smoothly and realistically.

Results: For the purposes of model comparison, a special map of the building with the dimensions of 40 to 22.5 meters (900 m²) has been prepared, able to accommodate a maximum of 3000 people. The simulations showed that in the case of the **CA** model, the actors gather at one of the outputs while the others are mostly unused. This is due to the fact that the **CA** model lacks the cost function, so the actor always chooses the nearest output. Things are different in the case of the **CA-A** model. Here, the actors equally burden each exit, they are able to make decisions regarding the choice of the exit not only on the basis of the distance but also the concentration of actors at the given exit. When comparing the **CA-A** and **CA-B** models, there are practically no differences in the received output load statistics. Only after a closer look at the movement of the actors during the simulation can be seen that if in the case of a clean **CA-A** model people move according to the ideal order, in the **CA-B** model there are momentary blockages and deadlocks of actors.

Conclusions: **CrowdSim** software created and presented in this work can be used by designers, architects or constructors as well as law enforcement, protection of a given facility or organizers of mass events. Simulations made repeatedly for one scenario with different input parameters reveal problems and bottlenecks that may appear during evacuation from an object at risk. Conducting such simulations at the design stage can have a very positive impact on the safety of people using a given facility, as well as improve its functionality.

Keywords: evacuation, modelling, cellular automata

Type of article: original scientific article

Received: 14.12.2018; Reviewed: 19.12.2018; Accepted: 21.12.2018;

Authors' ORCID IDs: M. Dobrowolski – 0000-0001-6496-0789; T. Maciak – 000-0001-9058-1272;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: *BiTP* Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 46–66, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.3>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель статьи – представить проприетарное программное обеспечение **CrowdSim** для моделирования пешеходных потоков. Это программное обеспечение имеет алгоритмы, основанные на двумерной модели клеточного автомата Cellular Automata (**CA**). Они включают в себя стратегические возможности пешеходов, относительно выбора выхода (**модель CA-A**), а также возможности возникновения препятствий и заторов на пути движения потока (**модель CA-B**). Внедрение различных моделей с точки зрения сложности предоставило возможность сравнить их эффективность, функционирование и реалистичность полученных результатов.

Проект и методы: Чтобы лучше и достовернее определить пешеходные маршруты, были предложены две модификации для улучшения работы алгоритмов моделирования. Первой из них было внедрение продвинутых алгоритмов, которые ранжируют клетки: **SRA** (Simple Ranking Algorithm), **BFS-RA** (Breadth First Search Ranking Algorithm) и **ARA** (Advanced Ranking Algorithm). Значение ранжирования данной клетки в процессе моделирования для каждого из участников является определяющим фактором пути, по которому он движется. Другим проприетарным усовершенствованием стало введение концепции памяти актера в определение клеточного автомата, благодаря которому пешеходы, помня последние движения, двигались более плавно и реалистично.

Результаты: Для целей сравнения моделей была подготовлена специальная карта здания размером от 40 до 22,5 метров (900 м²), рассчитанная на максимум 3000 человек. Моделирование показало, что в случае модели **CA** актеры собираются на одном из выходов, в то время как другие выходы, в основном, не используются. Это связано с тем, что в модели **CA** отсутствует функция стоимости, поэтому актер всегда выбирает ближайший выход. В случае с моделью **CA-A** ситуация совершенно иная. Здесь актеры одинаково пользуются каждым выходом, они могут принимать решения относительно выбора выхода не только исходя из расстояния, но и плотности людей на данном выходе. В случае сравнения моделей **CA-A** и **CA-B** практически нет различий в полученной статистике нагрузки на выход. Только после более пристального изучения движения актеров во время симуляции можно заметить, что если в случае чистой модели **CA-A** люди движутся в соответствии с идеальным порядком, то в модели **CA-B** присутствуют моментные блокировки и зажатия актеров.

Выводы: Программное обеспечение **CrowdSim**, созданное и представленное в этой работе, может использоваться дизайнерами, архитекторами или конструкторами, а также правоохранительными органами, службой охраны данного объекта или организаторами массовых мероприятий. Моделирование, сделанное неоднократно для одного сценария с различными входными параметрами, выявляет проблемы и пробки, которые могут возникать при эвакуации с объекта, подверженного риску. Проведение таких симуляций на этапе проектирования может оказать очень положительное влияние на безопасность людей, использующих данный объект, а также улучшить его функциональность.

Ключевые слова: эвакуация, моделирование, клеточный автомат

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 14.12.2018; Рецензирована: 19.12.2018; Одобрена: 21.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: M. Dobrowolski – 0000-0001-6496-0789; T. Maciak – 000-0001-9058-1272;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: *BiTP* Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 46–66, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.3>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wstęp

Bardzo ważną metodą badania procesu ewakuacji osób zagrożonych budynków jest konstrukcja odpowiednich modeli matematycznych opisujących przemieszczanie się pieszych. Symulacje komputerowe oparte na takich modelach umożliwiają

Introduction

A very important method of analyzing the evacuation of people from buildings at risk is developing appropriate mathematical models describing relocation of pedestrians. Computer simulations based on such models enable to define many

określenie wielu ważnych parametrów ewakuacji budynków o dowolnych wnętrzach (takich jak np. całkowity czas ewakuacji), a także wizualizację całego procesu ewakuacji. Dane zebrane podczas tego typu symulacji są doskonałym źródłem informacji dla architektów i projektantów, którzy mogą zawczasu zweryfikować proponowane przez siebie rozwiązania pod kątem bezpieczeństwa. Symulacje komputerowe są również doskonałą alternatywą dla próbnych ewakuacji, które można przeprowadzić dopiero po oddaniu budynku do użytku. Problematyka zapewnienia sprawnego procesu ewakuacji jest na tyle ważna, że odbywają się w tym obszarze wiedzy cykliczne międzynarodowe konferencje. Przykładowo można tu wymienić konferencje *Pedestrian and Evacuation Dynamics* [1], *Crowd and Cellular Automata* [2] czy *Traffic and Granular Flow* [3].

Na rynku dostępnych jest kilka komercyjnych rozwiązań oprogramowania mogącego posłużyć do symulacji procesu ewakuacji ludzi. Zdecydowana większość z tych rozwiązań jest płatna. Można tu wymienić najważniejsze i najbardziej popularne: **MassMotion** [4], **Pathfinder** [5], **Exodus** [6], **Legion** [7], **Fire Dynamic Simulator (FDS) + Evac** [8], **Goalem Crowd** [9], **Massive** [10], **Miarmy** [11], **Quadstone Paramics** [12], **VISSIM** [13]. Wymienione aplikacje umożliwiają tworzenie map w pełni trójwymiarowych oraz możliwość importu oraz eksportu najpopularniejszych programów do obróbki grafiki 3D (np. 3DS Max). Większość z nich charakteryzuje się zaawansowanym modulem analitycznym, mogącym przedstawić kilkanaście różnych statystyk.

W artykule przedstawiono autorskie oprogramowanie **CrowdSim** służące do modelowania ruchu pieszych. Bazuje ono na znanych algorytmach ruchu jednostek wywodzących się z dwuwymiarowego modelu automatów komórkowych (model Cellular Automata **CA**) [14]. Poprzez modyfikację bazowego modelu w oprogramowaniu uwzględniono strategiczne możliwości pieszych dot. wyboru wyjścia (model **CA-A**), jak też możliwości powstawania zakłóceń płynności ruchu oraz blokad (model **CA-B**) [15, 16]. Do przedstawionych modeli wprowadzono autorską modyfikację polegającą na tym, że pieszy zamiast losowego wyboru kierunku drogi przy przemieszczaniu się z komórki do komórki zachowuje swój poprzedni wektor ruchu. Wybór drogi pieszego odbywa się przez zastosowanie zaawansowanych algorytmów rankingowania komórek. Zaprezentowano również narzędzia umożliwiające zbieranie i wizualizację danych obliczonych podczas procesu symulacji. Porównano wyniki zaproponowanych modeli dynamiki pieszych co pozwoliło na wskazanie mocnych i słabych stron każdego z nich oraz na wybór najbardziej optymalnych rozwiązań w zależności od założonych parametrów wejściowych.

essential parameters of evacuation of buildings of any interiors (such as, e.g. total evacuation time) and also to visualize the whole evacuation process. Data collected during this type of simulation are a perfect source of information for architects and designers who can then verify their solutions in terms of safety beforehand. Computer simulations are also a good alternative for trial evacuations which can be performed only after the building has been commissioned for use. The efficiency of an evacuation process and the related subject matter are significant to the point that international conferences are regularly held (*Pedestrian and Evacuation Dynamics* [1], *Crowd and Cellular Automata* [2] or *Traffic and Granular Flow* [3], etc.) to discuss these issues.

The market has several commercial software solutions available for the simulation of the evacuation process. The vast majority of these solutions is paid. The most essential and popular are: **MassMotion** [4], **Pathfinder** [5], **Exodus** [6], **Legion** [7], **Fire Dynamic Simulator (FDS) + Evac** [8], **Goalem Crowd** [9], **Massive** [10], **Miarmy** [11], **Quadstone Paramics** [12], **VISSIM** [13]. These applications allow one to create fully three-dimensional maps and to import to and export from the most popular programs for 3D graphical processing (e.g. 3DS Max). The majority of them is characterized by advanced analytical modules to browse through various statistical data.

The article presents proprietary software **CrowdSim** for modelling pedestrian traffic. It is based on the known algorithms of movement of units originating from a two-dimensional cellular automata model (**CA**). [14]. Through the modification of the base model, strategic possibilities of pedestrians concerning selection of exits (**CA-A** model) and the possible occurrence of disruptions to traffic smoothness and blockages (**CA-B** model) were taken into account in the software [15, 16]. The presented models featured a proprietary modification which made the pedestrian not choose directions randomly while moving from cell to cell, but follow the same movement vector. Pedestrian's path is selected through the advanced algorithms of ranking cells. Also tools allowing the collection and visualisation of data computed during the simulation process were presented. The results of the proposed pedestrian dynamics models were compared, which revealed the strengths and weaknesses of each of them and allowed us to select the most optimal solutions depending on the adopted input parameters.

Algorytmy ruchu pieszych wykorzystane w oprogramowaniu

Bazowy model Cellular Automata CA

Jak już wspomniano we wstępie w pracy wykorzystano algorytmy ruchu pieszych bazujące na dwuwymiarowym modelu automatów komórkowych **CA**. Rozpatruje się tu kwadratową siatkę komórek, które mogą przyjmować stan „pusty” bądź

Pedestrian traffic algorithms used in the software

Basic Cellular Automata CA model

As mentioned in the Introduction, the article discusses algorithms concerning pedestrian traffic basing on a two-dimensional model of cellular automata **CA**. A square mesh of cells is used here which can be “empty” or “occupied”. Mo-

„zajęty”. W rozważaniach zakłada się sąsiedztwo Moore’a [17]. Pojedyncza komórka reprezentować może kilka wartości: pieszych, przeszkody, wyjścia lub przestrzeń ruchu. Przestrzeń ruchu oznacza komórki siatki dostępne dla ruchu pieszych. Na początku symulacji na siatce znajdują się tylko komórki reprezentujące ściany (przeszkody), wyjścia oraz przestrzeń ruchu. W kolejnych krokach generowana jest populacja pieszych w miejscach niezajętych przez przeszkody i wyjścia. Ruch pieszych rejestrowany jest w dyskretnych przedziałach czasowych (np. odpowiadających 1 s). W kolejnych krokach symulacji piesi, według wybranego algorytmu, kierują się ku wyjściom.

Aby piesi mogli poruszać się po siatce komórek, muszą być one odpowiednio rankingowane. Najprostszą metodą rankingowania pól jest tzw. pole potencjalne Bouviera [18]. Koncepcja ta polega na tym, że do każdej z komórek siatki przypisuje się pewną wartość liczbową zwaną potencjałem, uzależnioną od odległości od najbliższej komórki będącej wyjściem z pomieszczenia. Kiedy przypisze się tej reprezentującej wyjście komórce wartość 0, to wszystkie komórki przyległe (otoczenie Moore’a promień $R = 1$) będą miały przypisaną wartość potencjału równą 1. Analogicznie komórki należące do otoczenia Moore’a o promieniu $R = 2$ będą miały przypisaną wartość potencjału równą 2 itd. W ten sposób pole potencjalne propagowane jest od każdego z wyjść na całą siatkę automatu. Na podstawie wartości pola pieszy wybiera najbliższe mu wyjście i do niego podąża. W przypadku rozpatrywania propagacji pola potencjalnego od dwóch lub więcej komórek reprezentujących wyjście, przyjętą wartością dla danej komórki jest minimalna wartość potencjału (czyli odległość od najbliższego wyjścia w rozpatrywanej przestrzeni metrycznej). Natomiast w przypadku bardziej skomplikowanych modeli piesi mogą w trakcie symulacji zmieniać swoje preferencje, co do wyjść, do których podążają. Wówczas każda z komórek zawiera listę potencjałów. Na tej liście oddzielnie znajdują się wartości potencjałów dla każdego z dostępnych wyjść. Koncepcja Bouviera ma jednak swoje wady. Ten prosty mechanizm nienajlepiej sprawdza się w skomplikowanych pomieszczeniach, w których znajduje się wiele przeszkód jak np. ścianki działowe. Dlatego też, aby jak najwierniej odwzorować proces ewakuacji w stworzonym na potrzeby tej pracy programie komputerowym, zastosowano algorytm *Breadth-First Search (BFS)* [19]. Punktem wyjściowym są komórki oznaczone na siatce jako wyjścia z priorytetem 0, natomiast wierzchołkami są wszystkie komórki reprezentujące przestrzeń ruchu. Połączenia między wierzchołkami określone są przez sąsiedztwo Moore’a. Kolejność odwiedzania wierzchołków określa potencjał danych komórek. Algorytm ten komplikuje się trochę bardziej, jeżeli weźmiemy pod uwagę całe budynki, w których znajduje się wiele pomieszczeń, a oprócz drzwi wyjściowych znajdują się również drzwi przejściowe między tymi pomieszczeniami. Wówczas każde z tych pomieszczeń będzie posiadać swój lokalny ranking pól względem wyjść wewnętrznych, uwzględniający jednak bliskość do drzwi ewakuacyjnych.

W podstawowym modelu CA przyjmuje się losowe zajmowanie komórek przez pieszych. Z algorytmem ruchu pieszych bazującym na klasycznym modelu CA można zapoznać się np. w pracach H.L. Klüpfela [15], J. Wąsa [16] i M. Dobrowolskiego [20].

ore neighborhood is assumed in considerations [17]. A single cell can represent several values: pedestrians, obstacles, exits or traffic area. Traffic area means cells of the mesh available for pedestrian traffic. At the beginning of the simulation, the mesh only includes cells representing walls (obstacles), exits and traffic area. In the subsequent steps, a population of pedestrians is generated in places which are not occupied by obstacles and exits. Pedestrian traffic is recorded in discrete time intervals (e.g. of 1 s). In the further steps of the simulation, pedestrians move towards exits according to the selected algorithm.

In order for the pedestrians to move on the cellular mesh, the cells must be appropriately ranked. The simplest way of field ranking is by means of Bouvier’s potential field [18], a concept in which every cell of the mesh is assigned a number (the potential) the value of which depends on the distance from the nearest cell being the exit from the room. When the cell representing the exit is assigned value 0, all adjacent cells (Moore neighbourhood radius $R = 1$) will have the assigned potential value of 1; cells included in the Moore neighbourhood with radius $R = 2$ will be assigned the potential value of 2, and so forth. In this way, a potential field is propagated to every exit across the entire automaton mesh. Basing on the field value, the pedestrian chooses the nearest exit and moves towards it. In the case of analysing propagation of the potential field from two or more cells representing the exit, the assumed value for a given cell is constituted by the minimum potential value (i.e. distance from the nearest exit within the analysed metric area). In more complicated models pedestrians can change their preferences as to which exits they will move towards during the simulations. In such a case, each cell includes a list of potentials. This list in turn includes values of potentials for each of the available exits separately. Bouvier’s concept, however, has some disadvantages. Its simple mechanism proves rather insufficient in complex rooms with many obstacles, e.g. partition walls. Therefore, in order to accurately capture the evacuation process in the software developed for the purposes of this article, the *Breadth-First Search (BFS)* algorithm was used [19]. The starting point is constituted by the cells marked on the mesh as exits with priority 0, whereas peaks are all cells representing the traffic area. Connections between the peaks are defined based on the Moore neighborhood. The sequence in which peaks are visited is defined by the potential of particular cells. This algorithm becomes slightly more complex if we take whole buildings into account, with many rooms and passage doors, in addition to exit doors. In such case, each room will have its local ranking of fields in relation to internal exits, but accounting for close distance to evacuation doors.

In the basic CA model, cells are assumed to be occupied by the pedestrians on a random basis. The pedestrian traffic algorithm based on a classic CA model is described in papers by authors such as H.L. Klüpfel [15], J. Wąs [16] and M. Dobrowolski [20].

Modyfikacje modelu podstawowego

W modyfikacji modelu podstawowego proces decyzyjny został poszerzony o informację dotyczącą otoczenia. W przypadku grupy ludzi opuszczającej pomieszczenie, w którym znajduje się więcej niż jedno wyjście, poszczególne osoby podejmują decyzję o skierowaniu się do najkorzystniejszego z ich punktu widzenia wyjścia. W procesie podejmowania decyzji badana jest odległość od poszczególnych wyjść, liczona jako wartość pola potencjalnego generowanego od każdego wyjścia oraz gęstość tłumu wokół wyjścia wyrażana jako liczba osób w określonym polu wyjścia. Tak więc w stosunku do wariantu podstawowego, gdzie generowane jest jedno wspólne pole potencjalne dla wszystkich wyjść, tu dla każdego wyjścia generowane jest osobne pole potencjalne, czyli dla każdej komórki siatki rozpatrujemy pewien wektor wartości potencjałów (model **CA-A**).

Model klasyczny **CA** zakłada, że jeżeli w otoczeniu danej komórki znajduje się więcej niż jedna komórka o niższym priorytecie, to wybór między tymi komórkami jest całkowicie losowy. Podejście takie powoduje, że pieszy biorący udział w symulacji nienaturalnie często zmienia kierunek ruchu, przez co jego droga jest bardzo nieregularna. Dlatego też do rozpatrywanego algorytmu jako nowy element wprowadzono pojęcie **pamięci aktora**. Każdy z pieszych zapisuje w pamięci wektor ruchu dla swojego ostatniego kroku. Pieszy, podejmując decyzję o wyborze kolejnej wolnej komórki, w pierwszej kolejności bierze pod uwagę komórki zgodną z ostatnio zapamiętanym wektorem ruchu. Dzięki tej modyfikacji ruch pieszego jest znacznie bardziej płynny i przewidywalny, co dodatnio wpływa na realizm całej symulacji.

Schemat blokowy zmodyfikowanego w powyższy sposób algorytmu uwzględniającego możliwości wyboru wyjścia przez pieszego jest przedstawiony w pracy [20].

Opisywane wcześniej oba modele zakładają płynny przepływ mas ludzi zgodnie z ich uporządkowaną kolejnością względem odległości od wyjścia. Jednak w realnych sytuacjach ewakuacji zachowanie takiej kolejności bywa często zachwiane. Zwłaszcza podczas zaistnienia zjawiska paniki zaobserwować można zaistniałe między pieszymi konflikty, blokady oraz wzajemne przepychanie się [15]. Wobec tego należało zmodyfikować dalej istniejący algorytm o możliwość lokalizacji miejsc mogących spowodować tworzenie się blokad w ruchu pieszych. Można założyć, że iloraz liczby komórek wyjściowych do liczby wejściowych wskazuje dokładnie na miarę przepustowości danej komórki. W przypadku, gdy iloraz ten jest mniejszy od 1, mamy do czynienia z wąskim gardłem. W ten sposób wyznaczone są na siatce miejsca szczególnie narażone na blokady. Zatem im mniejszy współczynnik przepustowości, tym większe prawdopodobieństwo wystąpienia w tym miejscu blokady. Tak jak w przypadku poprzedniego modelu algorytm ruchu zakłada tu, że pieszy na podstawie funkcji kosztu dokonuje wyboru najbardziej odpowiadającego mu w danym momencie wyjścia z pomieszczenia. Jeżeli wyznaczona zostaje kolejna komórka jako cel ruchu w danym kroku czasowym, to algorytm sprawdza, czy należy ona do zbioru wąskich gardeł. Jeżeli tak jest to z wyznaczonym prawdopodobieństwem ustalone jest, czy wystąpiła blokada. Algorytm przewiduje w takim przypadku, że pieszy, który chce zająć taką komórkę, traci możliwość ruchu w tym kroku czasowym. Natomiast komórka ta zostaje zablokowana aż do końca

Modifications of the basic model

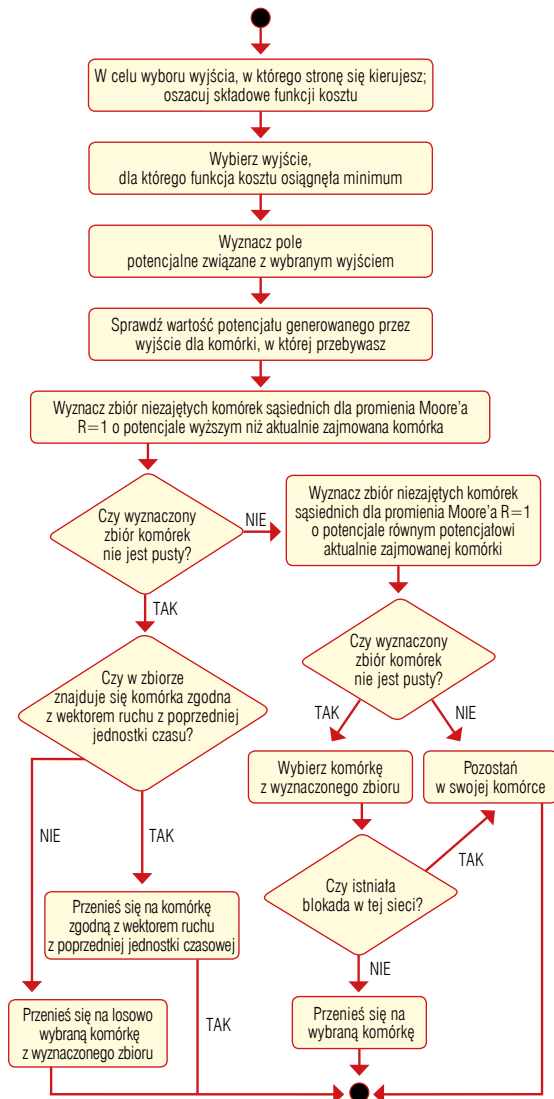
In the modified version of the basic model, the decision-making process was expanded to include information on the surrounding. In the case of a group of people leaving a room with more than one exit, individual persons decide on moving towards that exit which is the most favourable from their point of view. In the decision-making process, distances from particular exits are analysed, calculated as the value of a potential field generated from each exit and density of the crowd around the exit expressed as the number of persons within the defined exit field. Therefore, in relation to the basic option where one potential field is generated for all the exits, here, a separate potential field is generated for each exit, i.e. a certain vector of potential value is analysed for each cell in the mesh (**CA-A** model).

The classic CA model assumes that if there is more than one cell of lower priority around a particular cell, selection between these cells is totally random. Such an approach results in the fact that the pedestrian taking part in the simulation in an unnatural manner often changes the direction of movement, and therefore their path is highly irregular. Consequently, a new element, the concept of **actor's memory** concept was introduced to the algorithm in question. Each pedestrian records the movement vector for his last step in the memory. By making a decision concerning selection of the next free cell, the pedestrian first takes into account the cell compliant with recently remembered movement vector. Due to this modification, pedestrian's movement is considerably smoother and predictable, what positively affects realism of the whole simulation.

Flow chart of the such modified algorithm considering options of selection of the exit by the pedestrian is shown in paper [20].

The two models described earlier assume a smooth flow of masses of people in an orderly sequence in relation to the distance from the exit. However, in real-life evacuation situations, such a sequence is often disturbed. Especially during panic, conflicts between pedestrians, blockages and jostling can be observed [15]. Accordingly, the algorithm had to be modified even further by adding the possibility of locating sites which can cause blockages in pedestrian traffic. It can be assumed that the quotient of the number of exit cells to the number of entry cells precisely indicates the measure of the cell's throughput. If this quotient drops below 1, a bottleneck occurs. In this way, sites particularly exposed to blockages can be located on the mesh. The lower the throughput coefficient, the higher the probability of blockage at this specific spot. Similarly as with the previous model, the movement algorithm assumes that the pedestrian, basing on the cost function, chooses that exit which at the moment is most suitable for him. If another cell is selected as the destination of movement within a given time step, the algorithm verifies whether it belongs to the bottleneck group. If it does, then, subject to the assumed probability coefficient, it is checked whether a blockage has occurred. In such a case, the algorithm envisages that the pedestrian who wants to occupy such a cell, loses the possibility of movement during this time step. The cell, in turn, is blocked until the round ends. The pedestrian may move no sooner than during the next time step, and the blockage is removed from the cell constituting a bottleneck

tury. Pieszy zyskuje możliwość ruchu dopiero w następnym kroku czasowym, a z komórki będącej wąskim gardłem zdejmowana jest blokada (model CA-B). Schemat omawianego algorytmu zaimplementowanego w stworzonym oprogramowaniu został zaprezentowany na rycinie 1.



Rycina 1. Diagram opisujący algorytm ruchu pojedynczego pieszo w modelu uwzględniającym możliwość pojawienia się wąskich gardeł
Źródło: Opracowanie własne.

CROWDSIM

Oprogramowanie symulacyjne CrowdSim składa się z modułu symulacyjnego, wizualizacji oraz edytora map dwuwymiarowych. Daje ono możliwość przygotowania i przeprowadzenia symulacji ewakuacji osób z dość skomplikowanych pomieszczeń.

Edytor map

Pierwszym elementem, z którym styka się użytkownik oprogramowania, jest edytor map dwuwymiarowych. Okno edytora map zostało przedstawione na rycinie 2. Edytor pozwala zarów-

(the CA-B model). A diagram of the discussed algorithm, as implemented in the developed software, is presented in Figure 1.

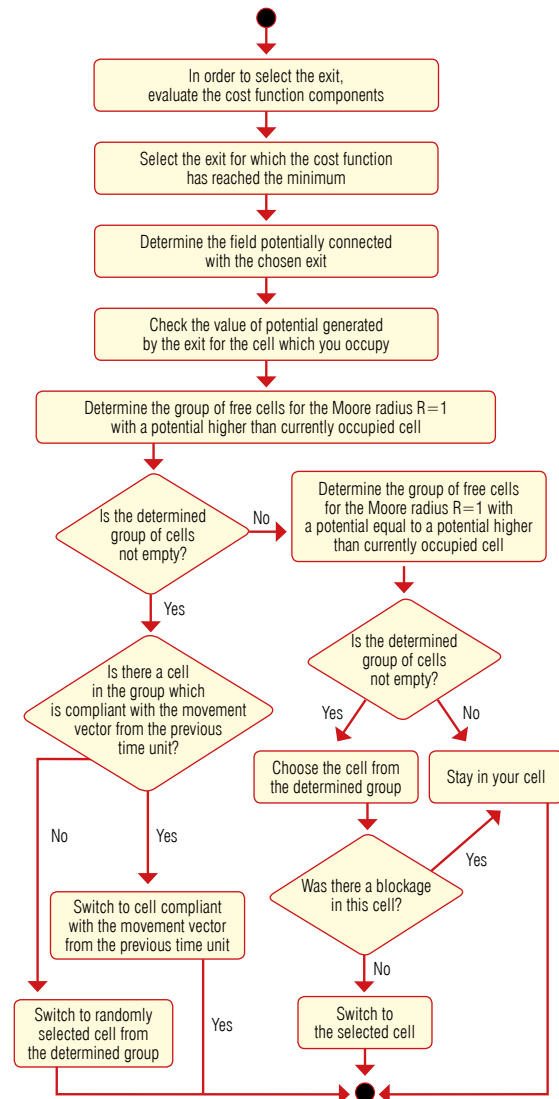


Figure 1. Diagram describing the algorithm of single pedestrian traffic in a model that takes into account the possibility of bottlenecks
Źródło: Own elaboration.

CROWDSIM

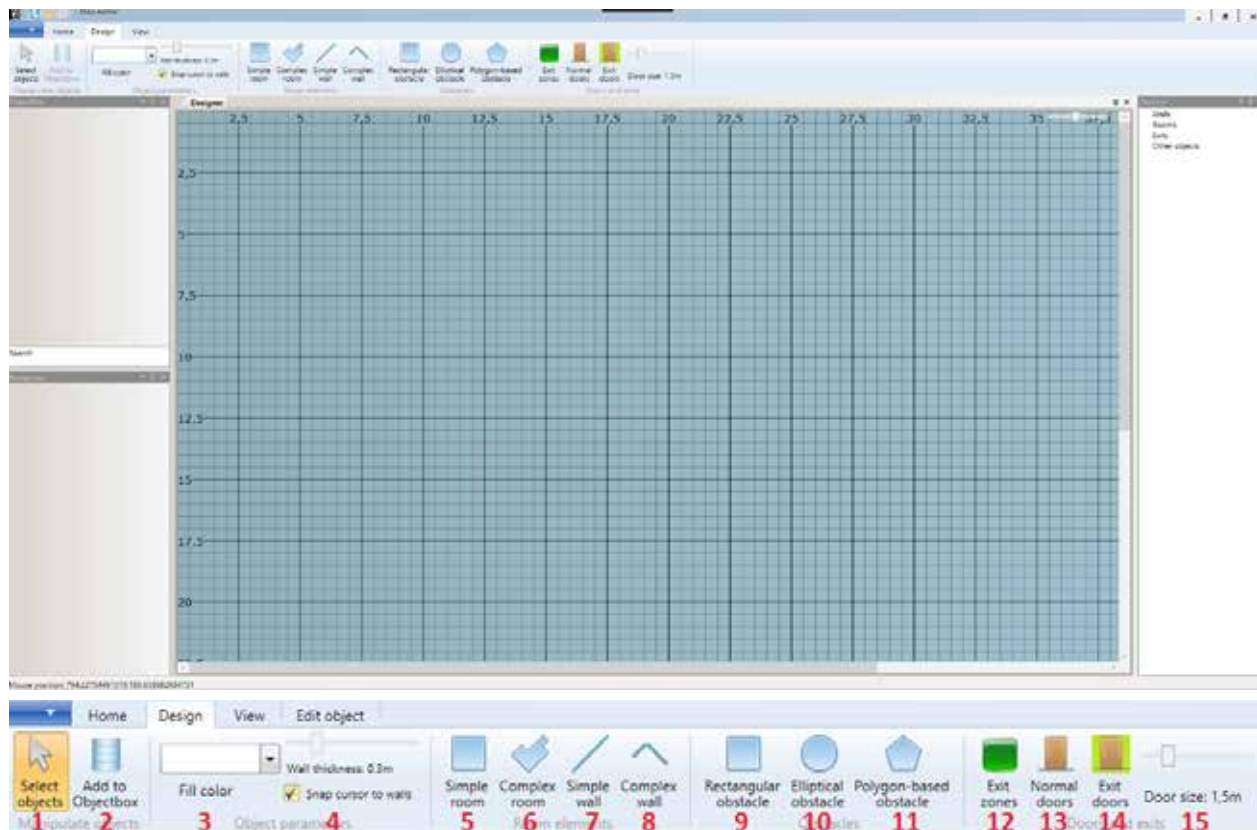
The CrowdSim simulation software consists of a simulation module, a visualisation section, and a two-dimensional map editor. It offers the possibility to design and carry out an evacuation simulation of people from relatively complex spaces.

Map editor

The first element the user has contact with is the two-dimensional map editor. The map editor window is shown in Figure 2.

no na zaaranżowanie i odtworzenie pomieszczeń wewnątrz budynków, jak i przestrzeni zewnętrznej, miast, placów itd.

The editor enables both to arrange and reproduce rooms inside buildings, outside areas, cities, squares, etc.



Rycina 2. Widok edytora map oraz zakładki „Design” górnego menu aplikacji CrowdSim

Figure 2. The map editor view and the "Design" tab of the top menu of the CrowdSim application

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Edytor umożliwia odwzorowanie przestrzeni w odpowiedniej skali. Liczba opcji i możliwości jest na tyle duża, że bez problemu można odwzorować nawet bardzo skomplikowane obiekty i przestrzenie. Bardziej złożone konstrukcje architektoniczne można zapisywać w postaci definiowalnych obiektów, aby potem używać je ponownie bez konieczności projektowania ich na nowo. Edytor umożliwia zapisanie nowo utworzonej mapy i późniejszą jej edycję. Dzięki temu po wykonanej symulacji można modyfikować projekt, tak aby jak najlepiej zaprojektować rozkład wyjść i pomieszczeń w kontekście procesu ewakuacji ludzi. Wszystkie mapy utworzone za pośrednictwem programu, zapisywane są w postaci wektorowej w plikach xml, zrozumiałych dla technologii WPF i .NET Framework. Dla projektanta udostępnionych jest wiele predefiniowanych kształtów i obiektów, takich jak kolumny, słupki itd. W programie dostępne są trzy rodzaje wyjść:

1. wyjścia wewnętrzne – przejścia między pomieszczeniami;
2. wyjścia ewakuacyjne – po przejściu przez nie uczestnik symulacji jest usuwany z mapy;

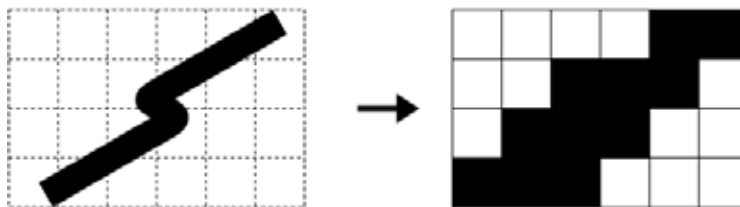
The editor enables the reproduction of a given space in user-selected scale. The number of options and possibilities is large enough to easily reproduce even highly complex objects and spaces. More complex architectural structures can be saved as definable objects and then reused without the need to be redesigned. Once created, the map can be saved as well and edited at a later time. This means that after a simulation is completed, the user can modify the project in order to design the layout of exits and rooms as effectively as possible in the context of evacuation of people. All maps created in the program are saved in a vectoral format as xml files compatible with the WPF and .NET Framework technologies. The designer has many predefined shapes and objects to choose from, including columns, posts, etc. There are three types of exits available in the program:

1. internal exits – passages between rooms;
2. evacuation exits – on passing it, the simulation participant is removed from the simulation
3. evacuation zones – in an open-area simulation, zones in which the simulation participant can be safely removed from the map, provided that he enters such a zone.

3. strefy ewakuacyjne – w przypadku symulowania terenów otwartych taka strefa oznacza miejsce, po dotarciu do którego uczestnik symulacji może zostać bezpiecznie usunięty z mapy.

Tak jak wspomniano powyżej, wszystkie mapy utworzone w edytorze zapisywane są w pamięci komputera w postaci wektorowej. Algorytm oparty o automaty komórkowe i systemy wieloagentowe przyjmuje, jednakże jako wejście jedynie macierz komórek. W związku z tym kolejną rolą edytora jest konwersja mapy wektorowej na mapę rastrową.

Pojedyncza komórka może oznaczać puste pole, przeszkodę, aktora lub wyjście. Wszystkie elementy architektoniczne takie jak ściany, kolumny, słupki, barierki oznaczane są jako komórki reprezentujące stan zajęty – przeszkodę, wyjścia oznaczane są oddzielnym typem, natomiast wszystkie pozostałe komórki definiowane są jako wolne. W procesie konwersji cała mapa dzielona jest na kwadraty o boku 40 cm. Jest to najmniejsza jednostka powierzchni brana pod uwagę w procesie symulacji, reprezentuje ona powierzchnie zajmowaną przez pojedynczego aktora [15]. Jeżeli w danym kwadracie choćby częściowo znajduje się jakiś element architektoniczny oznaczający przeszkodę, komórka automatycznie zostaje oznaczona jako zajęta, podobnie w przypadku wyjść (w przypadku niektórych ustawień programu następuje również rozróżnienie na komórki oznaczające wyjścia wewnętrzne oraz ewakuacyjne). Na rycinie 3 przedstawiona została przykładowa wizualizacja takiej konwersji, gdzie kolorem czarnym oznaczone zostały komórki zajęte (przeszkoda).



Rycina 3. Przykład wizualizacji konwersji między mapą wektorową a macierzą komórek

Figure 3. Sample visualisation of conversion between a vector map and a cell matrix

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Po dokonaniu konwersji mapy wektorowej przechodzi się do rozmieszczenia aktorów na mapie. Każdy aktor zajmuje dokładnie jedną komórkę. Edytor umożliwia dwa sposoby rozlokowania uczestników symulacji. Pierwszym z nich jest użycie kursora. Po przytrzymaniu lewego przycisku myszy i przeciągnięciu kursora na jego ścieżce ruchu pojawiają się aktorzy. Drugim sposobem jest zaznaczanie danego obszaru i podanie dokładnej liczby osób, która ma się tam znaleźć. Program sam losowo rozlokuje wtedy aktorów na zadanym obszarze.

Symulator

Symulator pełni kluczową rolę w całym systemie. Oprócz przeprowadzania samej symulacji odpowiedzialny jest również w pewnej części za przygotowanie macierzy komórek oraz za rankingowanie pól i zbieranie statystyk w czasie samej symulacji. Symulator składa się z trzech podstawowych modułów:

As mentioned above, all maps created in the editor are recorded in computer memory as vectors. However, the algorithm based on cellular automata and multi-agent systems only assumes a cell matrix as the entrance. Therefore, the editor's next task is to convert the vectoral map to a raster map.

A single cell can denote an empty field, an obstacle, an actor, or an exit. All architectural elements such as walls, columns, posts, railings are marked as cells representing occupied state – an obstacle, exits are marked as a separate type, and all the remaining cells are defined as unoccupied. During conversion, the entire map is divided into 40 cm x 40 cm squares being the smallest units included in the simulation process and representing the space occupied by a single actor [15]. If a square, in any part, includes any architectural element being an obstacle, the cell is automatically marked as occupied. The same applies to exits (depending on the program settings, the cells can be differentiated into internal and evacuation exits). Figure 3 shows an example of visualisation of such conversion, where occupied cells (obstacle) are marked with black.

Once the map conversion is complete, actors can be positioned on the map. Each actor occupies exactly one cell. The editor offers two ways to locate the simulation participants. The first one involves the mouse pointer. While holding the left mouse button and dragging it along, actors will appear along its path of movement. The second method requires the user to select an area and provide the exact number of people to be placed there. The program will then randomly place the actors within this particular area.

Simulator

The simulator serves a key role in the whole system. Apart from the simulation process itself, it is also responsible for preparing a cell matrix, ranking fields, and collecting statistical data during the simulation. The simulator consists of three basic modules:

- modułu rankingowania pól,
- modułu symulacyjnego,
- modułu zbierania statystyk.

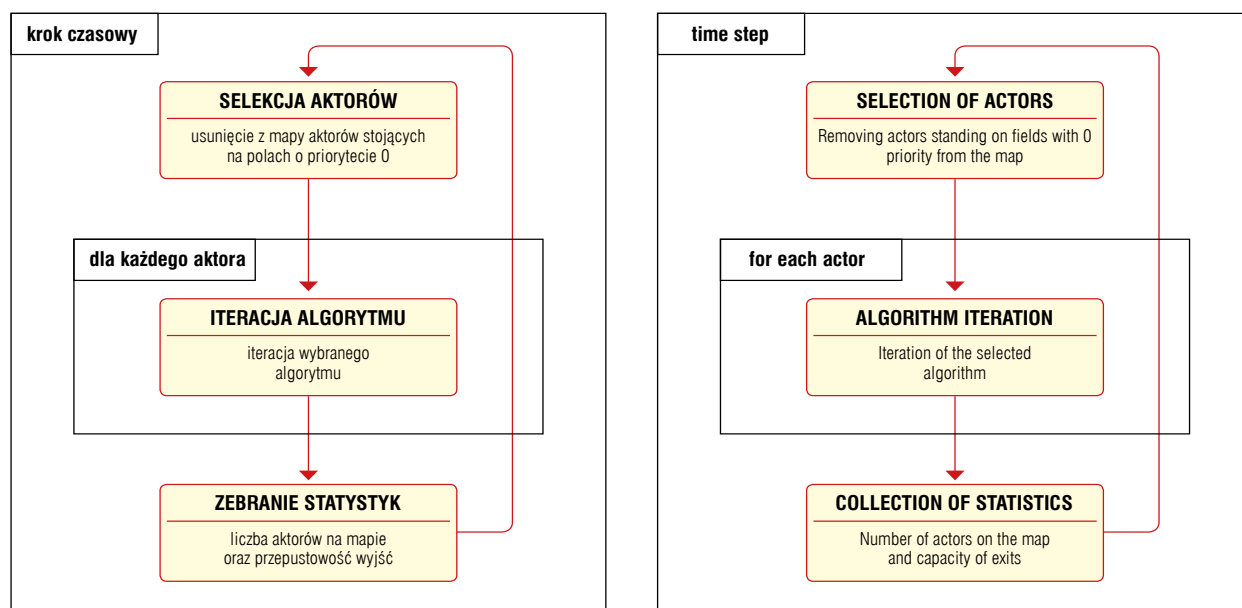
Moduł rankingowania pól odpowiedzialny jest za przypisanie każdej komórce odpowiednio wyliczonego priorytetu w postaci liczby całkowitej. Wartość ta jest wykorzystywana przez algorytm symulacyjny w procesie podejmowania decyzji o ruchu. Ogólna zasada zakłada, że im niższa wartość, tym pole znajduje się bliżej wyjścia. W związku z tym w procesie symulacji każdy aktor powinien dążyć do zajmowania pól z coraz to niższym priorytetem. Jako priorytet zerowy oznaczane są wyjścia i strefy ewakuacyjne. W programie symulacyjnym zaimplementowano trzy różne algorytmy rankingowania pól. Każdy z nich jest odpowiedni dla innego rodzaju map (pomieszczenia zamknięte lub tereny otwarte). Poprzez interfejs użytkownik ma możliwość wybrać samodzielnie rodzaj algorytmu rankingu lub też ustawić opcję automatycznego wyboru – wówczas program analizuje strukturę mapy oraz sam dokonuje wyboru najbardziej odpowiedniego algorytmu.

Moduł symulacyjny realizuje trzy opisane we wcześniejszej części artykułu algorytmy które użytkownik może wybrać podczas przygotowywania symulacji: algorytm modelu podstawowego **CA**, algorytm uwzględniający strategiczne możliwości pieszych **CA-A** oraz algorytm uwzględniający dodatkowo możliwości pojawiania się wąskich gardeł **CA-B**. Co więcej, użytkownik ma możliwość konfiguracji takich parametrów jak: współczynnik paniki (wykorzystywany w trzecim opisywanym algorytmie jako prawdopodobieństwo blokady) oraz wartość decydującą, czy podczas swojej decyzji odnośnie do wyboru wyjścia ewakuacyjnego pieszy będzie kierował się w większym stopniu zagęszczeniem osób przy danym wyjściu czy odległością. Po wyborze odpowiednich algorytmów oraz parametrów program jest gotowy, aby przejść do obliczania symulacji. Proces symulacji jest podzielony na kroki czasowe, których długość zależy od współczynnika paniki (im wyższy współczynnik paniki tym krótsze kroki czasowe) i wynosi od 0,8 do 1,2 sek. Parametry ustawione na wejściu pozostają niezmiennie przez cały czas działania symulacji. W każdym kroku czasowym odbywa się pojedyncza iteracja wybranego przez użytkownika algorytmu dla każdego z aktorów oddzielnie. Po obliczeniu iteracji dla wszystkich aktorów na mapie w danym kroku czasowym (rycina 4), następuje zebranie danych takich jak liczba aktorów na mapie w danej chwili oraz obciążenie wyjść (czyli liczba osób przechodzących przez dane wyjście w perspektywie czasu). Za to działanie odpowiedzialny jest **moduł zbierania statystyk** opisany w następnej części pracy.

- the field ranking module,
- the simulation module,
- the statistical data collection module.

The **field ranking module** assigns to each cell an appropriately calculated priority in the form of an integer value. This value is used by the simulation algorithm during the movement decision-making process. As a rule, the lower the value, the closer the field is to the exit. Accordingly, during the simulation process, each actor should aim at occupying fields with increasingly lower priority. Exits and evacuation zones are marked as having zero priority. The simulation program uses three field ranking algorithms. Each of them is appropriate for a different type of map (closed rooms or open areas). Through the interface, the user can choose the ranking algorithm or configure the automatic selection option to allow the program to analyse the structure of the map and select the most appropriate algorithm.

The **simulation module** implements the three algorithms described earlier, which the user can select while preparing the simulation: the CA basic model algorithm; the **CA-A** algorithm accounting for pedestrians' strategic capabilities; and the algorithm additionally accounting for the possible occurrence of bottlenecks **CA-B**. Furthermore, the user has the possibility of configuring such parameters as the panic coefficient (used by the third algorithm as the probability of blockages), and a value deciding whether in his decision on which evacuation exit to choose, the pedestrian will be motivated more by the concentration of people around an exit or by the distance. After selecting appropriate algorithms and parameters, the program is ready to perform the simulation. The simulation process is divided into time steps the length of which depends on the panic coefficient (the higher the coefficient, the shorter the time steps) and which can take between 0.8 and 1.2 seconds. The parameters set at the beginning remain unchanged throughout the simulation process. Each time step includes a single iteration of the algorithm selected by the user for each actor separately. After calculating the iteration for all actors on the map in a particular time step (Fig. 4), data are collected, such as number of actors on the map at a given moment and the load of exits (i.e. the number of people passing through the exits over time). This task rests with the **statistical data collection module** described in the further part of the article.



Rycina 4. Struktura pojedynczego kroku czasowego w procesie symulacji

Figure 4. The structure of a single time step in the simulation process

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wizualizacja symulacji oraz przedstawienie statystyk

W wyniku działania algorytmu symulacyjnego powstają dwa pliki, jeden z nich reprezentuje schemat ruchów poszczególnych aktorów, tak aby można było go wizualizować, a drugi zawiera statystyki w ujęciu czasu. Moduł wizualizacji jest częścią oprogramowania i wykorzystuje on oba pliki w swoim działaniu.

Visualising the simulation and presenting statistical data

The simulation algorithm generates two files – the first one represents actors' movement patterns to be visualised later; the second contains statistical data distributed over time. The visualisation module constitutes part of the software and uses both files in its operation.



Rycina 5. Zrzut ekranu procesu symulacji programu

Figure 5. A screenshot from the simulation process

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Sama wizualizacja odtwarzana jest z wcześniej przygotowanego pliku, więc można ją dowolnie przewijać i zatrzymywać. Dodatkowo aktorzy rozróżnieni są kolorami od zielonego po czerwony. Odcienie kolorów zielonego i żółtego oznaczają swobodnie poruszających się ludzi, natomiast pomarańczowy i czerwony na mapie oznacza duże zagęszczenie aktorów, najczęściej wąskie gardło. Są to miejsca potencjalnie niebezpieczne, mogą one zamienić się w ogniska paniki i szybko rozprzestrzenić się na pozostałych aktorów. W trakcie działania algorytmów symulacyjnych duży wpływ na wynik końcowy ma element losowości, dlatego też każda symulacja, nawet przy identycznych danych wejściowych różni się od siebie. Na rycinie 5 przedstawiono obraz z przykładowej symulacji. Czarnym kolorem oznaczone są ściany i przeszkody, wyjścia oznaczone jaśniejszym zielonym oznaczają drzwi wewnętrzne, natomiast ciemniejszym wyjścia ewakuacyjne.

Widok statystyk umożliwia podgląd pięciu różnych kategorii:

1. Pozostali piesi (Remaining actors) – wykres pokazuje liczbę aktorów na mapie w perspektywie czasu;
2. Obciążenie wyjść (Exits load) – pokazuje liczbę osób opuszczających teren przez dane wyjście w perspektywie czasu;
3. Użycie wyjść (Exits usage) – pokazuje na wykresie kołowym ile osób procentowo opuściło teren przez dane wyjście;
4. Przepustowość wyjść (Exits capacity) – pokazuje w formie wykresu słupkowego, ile osób maksymalnie może opuścić teren przez dane wyjście;
5. Wydajność wyjść (Exits performance) – pokazuje na wykresie w jakim procencie dane wyjście było wykorzystane w trakcie trwania ewakuacji. Jeżeli wartość wynosi 100% oznacza to, że przez cały okres symulacji przez wyjście wydostawała się maksymalna możliwa ilość osób.

Przykładowe zobrazowanie statystyk zostało przedstawione na rycinie 6.

Do oprogramowania dodany został eksperymentalnie moduł wizualizacji 3D za pomocą silnika graficznego Unity3D [21]. Moduł ten między innymi umożliwia cofanie i zatrzymywanie symulacji. Bazuje on na tym samym pliku wynikowym z zapisem ruchu co wizualizacja 2D. Udostępnia jednakże kilka dodatkowych opcji, takich jak oznaczenie szybkości ruchu oraz linie narysowane na mapie oznaczające ścieżki ruchu pieszych (rycina 7).

Since the visualisation is reproduced from a pre-prepared file, it can be rewound and stopped as needed. In addition, actors are marked with various colours, from green to red. Shades of green and yellow denote freely moving people, whereas orange and red on the map mean a high concentration of actors, i.e. usually a bottleneck. These are potentially dangerous areas which can potentially turn into panic points and rapidly proliferate over the remaining actors. While the simulation algorithms are in operation, the final result is largely affected by the randomness aspect. Every simulation is therefore different, even if the input data remain unaltered. Figure 5 shows a screen from a sample simulation. The walls and obstacles are marked in black, the exits marked with lighter green indicate internal doors, whereas a darker shade of green indicates evacuation exits.

The user can browse through five different categories in the Statistics section:

1. Remaining Actors – a chart which shows a number of actors on the map in time;
2. Exits Load – shows the number of people leaving the area through a particular exit over time;
3. Exits Usage – shows, on a circular chart, how many people (in percent) left the area through a particular exit;
4. Exits Capacity – shows, in the form of a bar chart, how many people maximally can leave the area through a particular exit;
5. Exits performance – in the chart it shows in what percent the particular exit was used during the evacuation. If this value equals 100%, it means that a maximum possible number of people got through the exit during the evacuation.

A sample illustration of statistics is shown in Fig. 6.

The software was experimentally equipped with a 3D visualisation module using the Unity3D graphical engine [21]. This module enables, e.g. rewinding and stopping the simulation. It relies on the same output file with movement recording as 2D visualisation. However it provides several additional options, such as determination of movement speed and lines drawn on the map indicating pedestrian movement paths (Fig. 7).

Porównanie modeli dynamiki pieszych

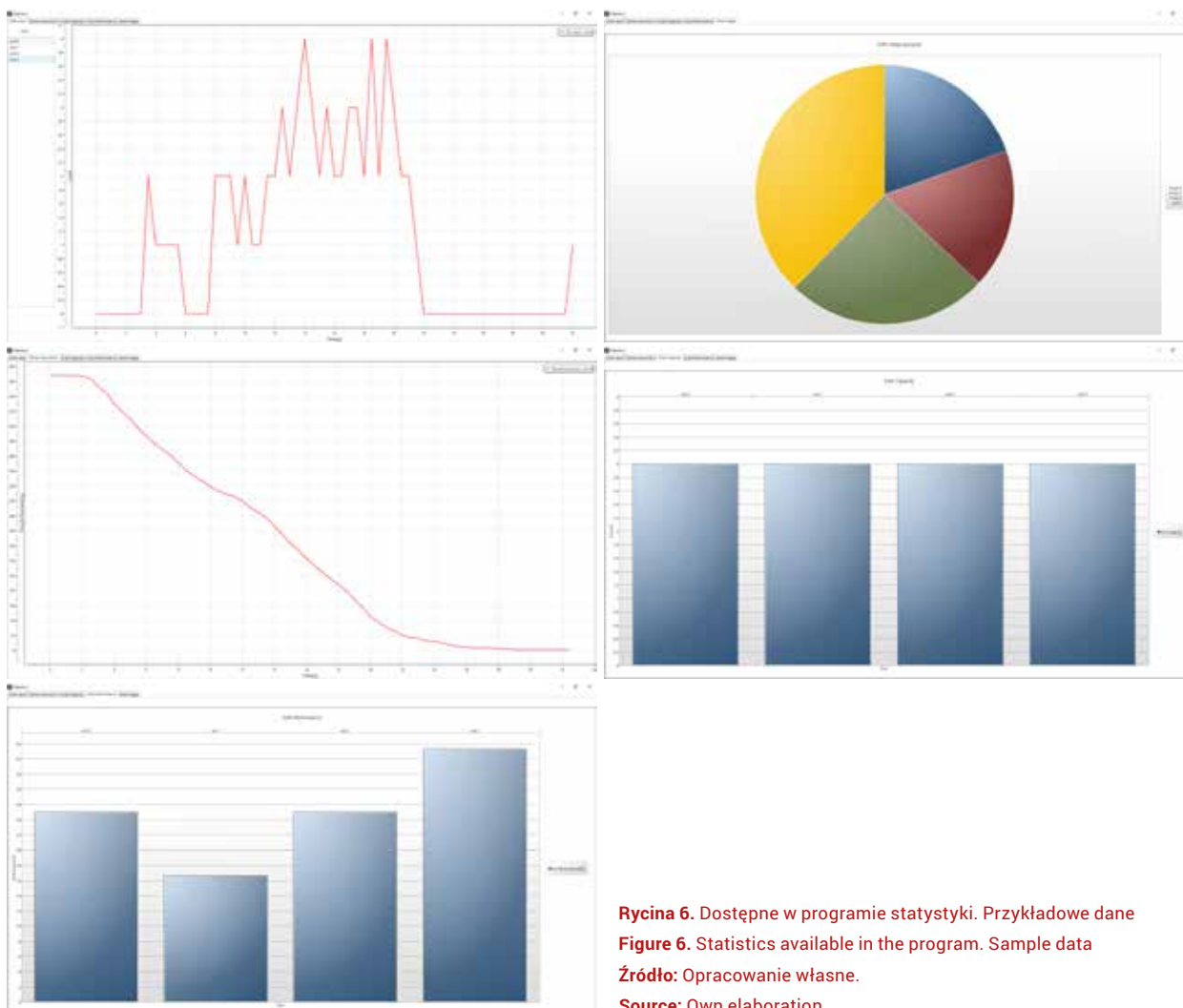
Porównanie algorytmów rankingowania komórek macierzy

Jednym z najważniejszych elementów przygotowania do symulacji jest nadanie każdej komórce odpowiedniego rankingu. To od tej właśnie wartości zależeć będzie charakterystyka ruchu aktorów w procesie ewakuacji. Wartość rankingu danej komórki w procesie symulacji jest dla każdego z aktorów wyznacznikiem drogi, każdy z nich dąży do przemieszczenia się na pola o coraz niższym rankingu. W przypadku bardziej skomplikowanych scenariuszy, gdy na mapie znajduje się więcej niż jedno wyjście ewakuacyjne komórka może posiadać wiele wartości rankingu,

Comparison of pedestrian dynamics models

Comparison of algorithms for ranking matrix cells

One of the most important elements of preparation for the simulation process is to assign appropriate ranking to each cell. This value will affect the characteristics of movements of actors in the evacuation process. Ranking value of a particular cell in the simulation process constitutes a path indicator. Each one of them aims at fields on lower and lower ranking. In the case of more complex scenarios, when more than one evacuation exit is present on the map, the cell can have various ranking



oddzielnych dla każdego wyjścia. Wówczas to aktor decyduje o wyborze wyjścia zgodnie z zaimplementowanym algorytmem.

W zależności od rodzaju mapy oraz rozkładu pomieszczeń dobór metody rankingowania pól może się różnić. W przypadku otwartych przestrzeni sprawa wygląda dość prosto, natomiast komplikuje się znacząco w przypadku mapy z rozbudowaną strukturą pomieszczeń. W obu tych przypadkach nie można użyć tego samego algorytmu, aby uzyskać zadowalający skutek. Dlatego też w przypadku opisywanego oprogramowania symulacyjnego zaimplementowano trzy zupełnie różne algorytmy rankingowania pól. Za dobór odpowiedniej metody odpowiada specjalny moduł oprogramowania symulacyjnego. Jest on w stanie przeanalizować strukturę mapy, rodzaj terenu oraz poziom skomplikowania siatki pomieszczeń i dobrać najbardziej optymalny sposób rankingowania komórek.

Wszystkie przedstawione poniżej algorytmy rankingowania komórek są algorytmami autorskimi napisanymi na potrzeby oprogramowania symulacyjnego [20]:

- **SRA** (*Simple Ranking Algorithm*) jest to najprostszy i najbardziej naiwny ze wszystkich zaimplementowanych algorytmów. Wartość rankingu danej komórki obliczana jest dokładnie tak jak odległość między dwoma punktami układu współrzędnych z tym, że wartości x oraz y są odpowiednio wartościami indeksu wiersza i indeksu kolumny danej komórki. Metoda ta jest bardzo prosta i szybka oraz łatwa do zrównoleglenia. Program wykorzystując ją do rankingowania przestrzeni otwartych nie zawierających oddzielnych pomieszczeń lub stref oddzielonych barierkami. Algorytm ten natomiast zupełnie nie sprawdza się w przypadku przestrzeni zamkniętych podzielonych na oddzielne pomieszczenia ponieważ nie bierze pod uwagę żadnych przeszkód, znajdujących się na drodze między daną komórką a wyjściem. Na rycinie 8 przedstawiony został wynik działania algorytmu **SRA** na przykładowym pomieszczeniu składającym się z trzech pokoi oddzielonych wewnętrznymi przejściami. Jak widać, algorytm błędnie ponumerował pola znajdujące się w pomieszczeniu o numerze 1. Komórki tego pokoju faktycznie licząc wektorowo znajdują się blisko wyjścia jednak aby do niego dotrzeć należy iść okrężną drogą przez pokój oznaczony numerem 2.
- **BFS-RA** (*Breadth First Search Ranking Algorithm*) jest to metoda oparta na popularnym algorytmie grafowym przeszukiwania wszerz [19]. Mapa komórkowa potraktowana jest w tym przypadku jak graf, w którym poszczególne komórki są wierzchołkami, z czego każdy z wierzchołków ma połączenie jedynie z otaczającymi go innymi komórkami (wierzchołkami). Korzeniem grafu jest każda komórka reprezentująca wyjście ewakuacyjne. Dla każdej z komórek mapy obliczana jest na podstawie algorytmu najkrótsza ścieżka prowadząca do korzenia (wyjścia ewakuacyjnego). Dzięki takiemu podejściu można odpowiednio oznaczyć wszystkie komórki, nawet w przypadku bardzo skomplikowanej siatki pomieszczeń. Oczywiście koszt obliczeniowy tego algorytmu, w porównaniu z pierwszą metodą, jest znacznie wyższy i znacznie trudniejszy do zrównoleglenia. Dlatego jest on wybierany dopiero wtedy, gdy ukształtowanie mapy nie pozwala na zastosowanie algorytmu **SRA**.

values, separate for each exit. In such a case the actor decides which exit to choose according to the implemented algorithm.

Selection of a ranking method can differ depending on the type of map and layout of rooms. The case is quite simple for open areas, whereas it gets considerably complex in the case of maps with an extended structure of rooms. In both these cases one cannot use the same algorithm in order to obtain a satisfying result. Therefore, in the case of the discussed simulation software, three different field ranking algorithms were applied. Selection of the appropriate method is performed by the special simulation software module. It can analyse the map structure, the type of area, and the level of complexity of the room network, and then select an optimal cell ranking method.

All cell ranking algorithms shown below are proprietary algorithms written for simulation software purposes [20]:

- **SRA** (*Simple Ranking Algorithm*). The simplest and most “naïve” of all the implemented algorithms. The ranking value of a particular cell is calculated exactly as the distance between both points of the coordinate system; however, x and y values are the row index and column index values, respectively. This method is very simple, fast and easy to parallel. The program uses it to rank the open areas not including separate rooms nor areas separated with railings. Whereas this algorithm is totally unfit for closed areas divided into separate rooms because it does not take into account any obstacles between the cell and the exit. Figure 8 shows the result of operation of the **SRA** algorithm on a sample room consisting of three compartments separated by internal passages. As can be seen, the algorithm incorrectly numbered the fields included in the room number 1. Cells in this room, when counting by vectors, are actually located near the exit. However, in order to approach it, one has to go via a circuitous route through the room number 2.
- **BFS-RA** (*Breadth First Search Ranking Algorithm*) A method based on a popular graph algorithm of breadth search [19]. The cell map is treated in this case as a graph in which particular cells are peaks and each peak is connected only to the surrounding cells (peaks). The root of the graph is constituted by each cell representing the evacuation exit. For each cell of the map, the shortest path leading to the root (evacuation exit) is calculated. With such an approach, all cells can be marked, even in the case of highly complex room mesh. Understandably, the calculation cost of this algorithm, as compared to the first method, is considerably higher and harder to parallel. Therefore it is selected only when the form of the map does not allow to use the **SRA** algorithm.

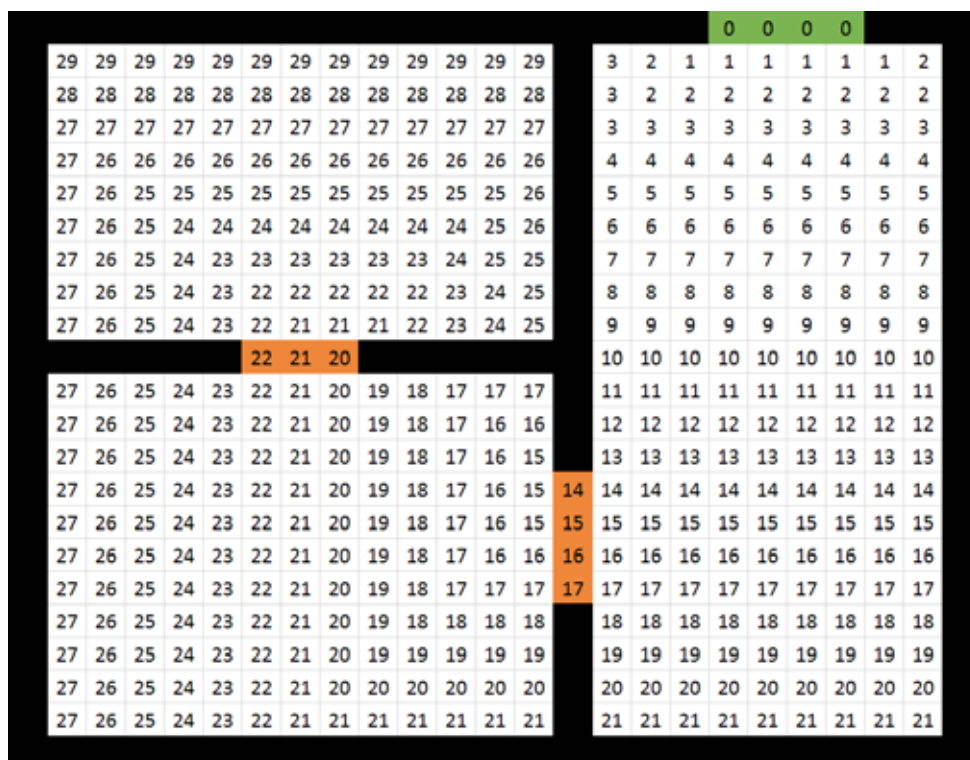


Rycina 8. Przykładowy wynik działania algorytmu SRA

Figure 8. An example of the result of the SRA algorithm

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 9. Reprezentacja metody rankingowania BSF-RA

Figure 9. Representation of the BSF-RA ranking method

Źródło: Opracowanie własne.

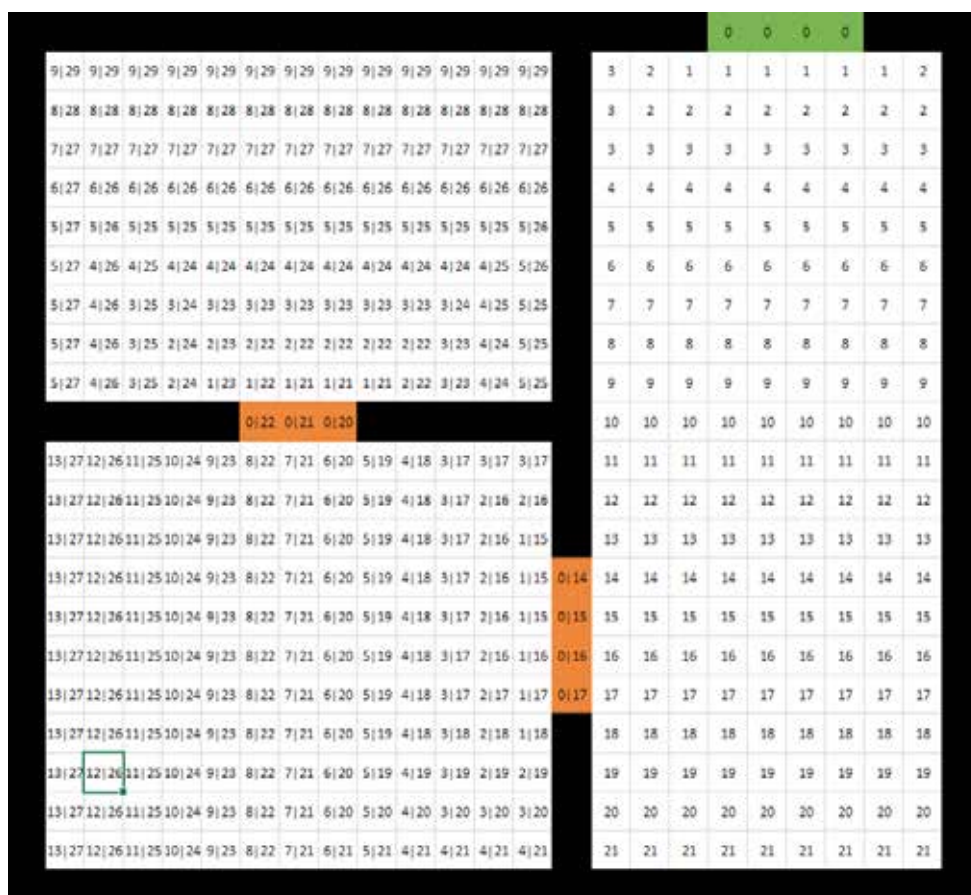
Source: Own elaboration.

Jak przedstawiono na rycinie 9, pola zostały ponumerowane zupełnie inaczej niż w pierwszym przypadku. Skrajne lewe górne pomieszczenie posiada największe wartości rankingu, ponieważ w tym przypadku nie liczy się odległość wektorowa lecz rzeczywista droga, jaką musi przejść aktor, aby dotrzeć do wyjścia. Nie ma tu możliwości zablokowania się aktora na mapie, tak aby nie był on w stanie opuścić pomieszczenia, jak to miało miejsce w przypadku metody **SRA** (oczywiście pod warunkiem poprawnego zaprojektowania mapy).

- **ARA (Advanced Ranking Algorithm)**. Poprzedni model **BFS-RA** umożliwił wyznaczenie dokładnej ścieżki między wyjściem a dowolną komórką na mapie. Można wysnuć twierdzenie, że jest on zupełnie wystarczający do przeprowadzenia dowolnie skomplikowanej symulacji. Jednak w praktyce okazuje się, że aktorzy podczas ewakuacji bardzo nieefektywnie wykorzystują dostępną przestrzeń. Każdy z aktorów podąża idealnie najkrótszą drogą do wyjścia, tak jak by był świadom planu pomieszczeń. W rzeczywistych warunkach natomiast ewakuacja sprowadza się do opuszczania kolejno następujących po sobie pomieszczeń na drodze do wyjścia. Ścieżki ewakuacyjne najczęściej oznaczone są tabliczkami, które kierują przechodniów do kolejnych drzwi wewnętrznych (przejściowych) na drodze do wyjścia ewakuacyjnego.

As shown in Fig. 9, fields were numbered differently than in the first case. The top left room has the highest ranking values because in this case the vector distance does not count but the actual distance which has to be made by the actor in order to reach the exit. There is no possibility of blocking the actor on the map without a possibility of leaving the room as in **SRA** method (of course assuming that the map has been correctly designed).

- **ARA (Advanced Ranking Algorithm)**. The previous **BFS-RA** model enabled to determine the exact path between the exit and any cell on the map. It can be stated that it is totally sufficient to execute simulation with any level of complexity. In practice, it turns out that actors during the evacuation use the available area very inefficiently. Each actor takes an ideally shortest path to the exit as if he knew the layout of rooms. In real-life conditions, however, evacuation consists in leaving subsequent rooms on the road to exit. Evacuation paths are most often marked with plates which lead pedestrians to next internal (connecting) doors on the road to evacuation exit.



Rycina 10. Graficzne przedstawienie efektu działania algorytmu ARA

Figure 10. Graphical representation of the effect of the ARA algorithm

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Według tej wiedzy każdy pokój należałoby traktować jako oddzielną mapę a drogę ewakuacyjną jako kolejność pokoi, które należy przejść aby wydostać się z pomieszczenia. Dlatego też powstała konieczność stworzenia kolejnej metody rankingowania, która oprócz globalnego rankingu całej mapy udostępnia również ranking każdego z pomieszczeń osobno. Algorytm **ARA** stworzony na potrzeby tej pracy wprowadza pojęcie rankingu lokalnego oraz globalnego, gdzie lokalny odnosi się do konkretnego pomieszczenia, a globalny do całej powierzchni budynku. **ARA** oparty jest również na metodzie przeszukiwania grafu w szereg z tą różnicą, że ranking tworzony jest dla całej mapy i dla każdego z poszczególnych pomieszczeń oddzielnie. Opuszczając poszczególne pomieszczenia, aktorzy kierują się lokalnym rankingiem. Dzięki temu cały proces symulacji wygląda znacznie realistyczniej i naturalniej [20]. Przystawienie efektu działania algorytmu **ARA** zostało zaprezentowane na rycinie 10.

Porównanie modeli CA

Podstawową różnicą między modelami **CA** i **CA-A** jest wprowadzenie w modelu **CA-A** pojęcia funkcji kosztu, dzięki której aktor może zdecydować o wyborze najkorzystniejszego wyjścia. Aby w pełni dostrzec różnicę między tymi dwoma modelami, należy odpowiednio przygotować mapę. Powinno na niej znajdować się więcej niż jedno wyjście ewakuacyjne, tak aby widoczne mogło być działanie funkcji kosztu. Zaprezentowane poniżej mapy zostały przygotowywane specjalnie w celu uwidocznienia różnic między rozpatrywanymi modelami. Model **CA-B** jest modyfikacją modelu **CA-A** uwzględniającą mechanizm blokad i w związku z tym nie należy spodziewać się, że dodanie mechanizmu blokad w znaczący sposób wpłynie na wyniki symulacji. Należy zatem spodziewać się, że różnice między modelami **CA-A** i **CA-B** będą raczej niewielkie.

Na potrzeby porównania modeli przygotowana została specjalna mapa budynku o wymiarach kontyngencji 40 na 22,5 metra (900 m²) zdolnego pomieścić maksymalnie 3000 osób. Składa się on z 6 dużych pokoi po 75 m² każdy, dwóch korytarzy oraz obszernego holu. Budynek posiadał trzy wyjścia ewakuacyjne na ścianie południowej. Cztery pokoje miały po jednym drzwiach wyjściowych natomiast dwa posiadały po dwa wyjścia po obu stronach pokoju. Każde z wyjść ewakuacyjnych miało szerokość 1,5 m. Rycina 11 przedstawia plan opisywanego pomieszczenia.

Zgodnie z przedstawionym planem budynku aktor mógł wybierać między jednym z trzech wyjść ewakuacyjnych, dzięki temu będzie można zauważyć różnice między modelami **CA** i **CA-A**. Kolejną istotną kwestią było rozmieszczenie aktorów na mapie. Celem pierwszego eksperymentu numerycznego było pokazanie różnicy między oboma modelami poprzez wykorzystanie funkcji kosztu. Stąd też aktorzy zostali rozmieszczeni tak, aby dla zdecydowanej większości z nich najbliższym wyjściem było wyjście numer 1 (rycina 12).

Można zauważyć, że w przypadku modelu **CA** aktorzy gromadzą się przy jednym z wyjść, podczas gdy pozostałe zostają w większości nieużywane (rycina 13). Wynika to z faktu, że w modelu **CA** brakuje funkcji kosztu, zatem aktor zawsze wybiera wyjście najbliższe. Inaczej sprawa ma się w przypadku modelu **CA-A**. Rycina 14 pokazuje, że aktorzy w miarę równo obciążają każde z wyjść. Są oni w stanie podjąć decyzje odnośnie do wyboru wyjścia nie tylko na podstawie odległości, ale

According to this knowledge, each compartment should be treated as a separate map, and the evacuation route as a sequence of compartments which need to be passed in order to get out of the room. Therefore, there was a necessity to create the next ranking method which apart from the global ranking of the whole map, also makes the rank of each room individually available. The **ARA** algorithm created for the purposes of this paper introduces a term of local and global ranking where the local one relates to the particular room and global – to the whole area of the building. **ARA** is also based on the breadth search of the graph with such a difference that the rank is created for the whole map and for each of the rooms separately. By leaving subsequent rooms, the actors are directed by the local ranking. Due to this, the whole simulation process looks much more realistic and natural [20]. The effect of **ARA** algorithm operation effect is presented in Fig. 10.

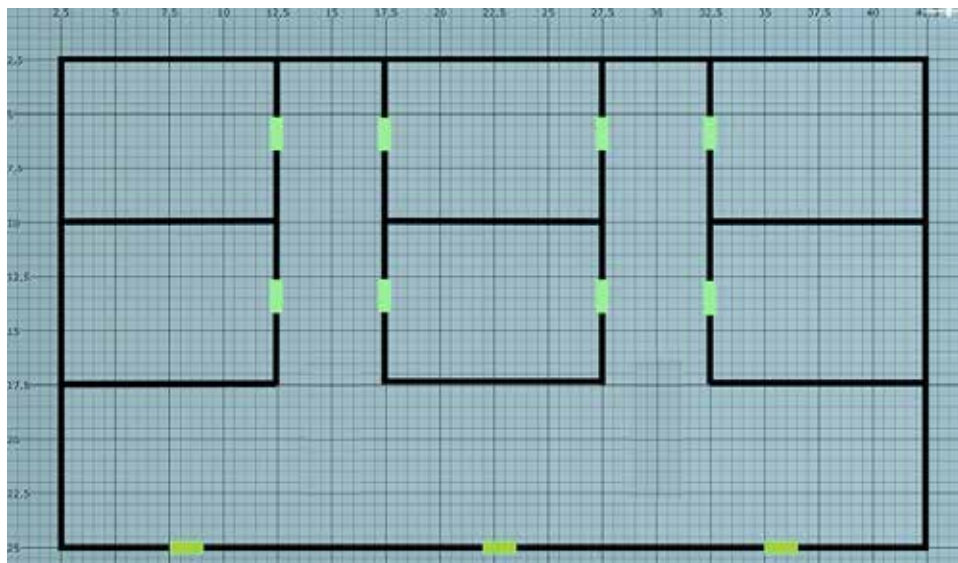
Comparison of CA models

The main difference between **CA** and **CA-A** models is the introduction of the concept of “cost function” in the **CA-A** model due to which the actor can decide which exit is the most favourable. In order to fully observe the difference between these two models, the map should be prepared properly and include more than one evacuation exit in order to make the cost function operation visible. The maps below were prepared specifically for the purpose of demonstrating differences between the analysed models. The **CA-B** model constitutes a modification of the **CA-A** model taking into account the blockage mechanism and, therefore, one should expect that any differences between **CA-A** and **CA-B** models will be rather small.

For the purposes of comparison of the models, a special map of the building was prepared with 40 m x 22.5 m (900 m²) floor dimensions which is able to contain maximum 3000 people. It consists of 6 large rooms, 75 m² each, two corridors and a spacious hall. The building had three evacuation exits on the southern wall. Four rooms were equipped with one exit door each, whereas two had two exits on both sides of the room. Each evacuation exit had the width of 1.5 m. Figure 11 shows the plan of the building.

According to the presented plan of the building, the actor could select between one of three evacuation exits. Due to this, differences between **CA** and **CA-A** models will be visible. The next essential issue was to distribute the actors on the map. The aim of the first numerical experiment was to show the difference between both models by using the cost function. This is why the actors were distributed in such way as to make the exit No. 1 the nearest exit (Fig. 12).

It can be observed that in the case of the **CA** model, the actors gather near one of the exits, while other exits remain mostly unused (Fig. 13). This stems from the fact that in the **CA** model there is no cost function and, therefore, the actor always selects the nearest exit. The situation is different in the case of **CA-A** model. Figure 14 shows that the actors occupy each exit quite equally. They are able to make a decision on which exit to choose not only basing on the distance but also the concentration of

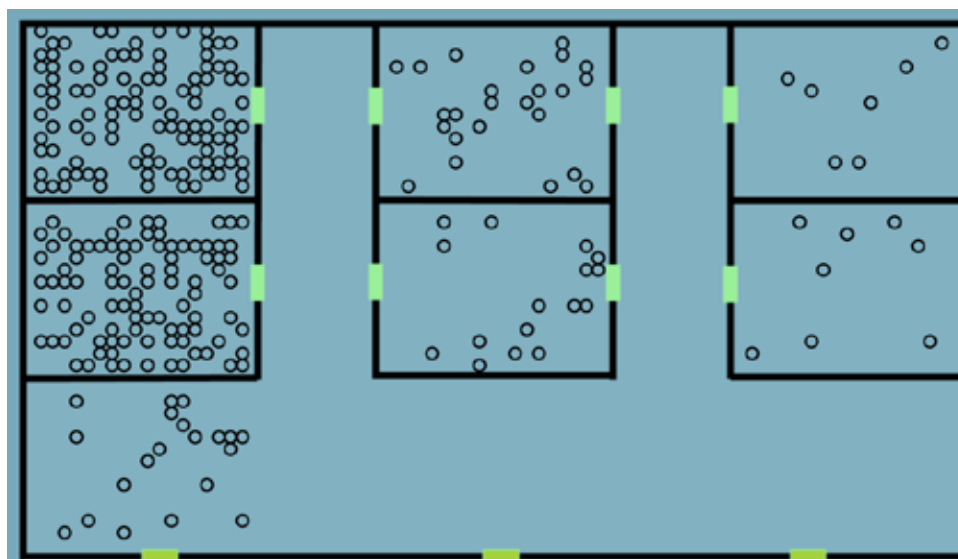


Rycina 11. Plan budynku przygotowanego na potrzeby symulacji

Figure 11. Plan of the building prepared for the needs of simulation

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 12. Rozkład aktorów na przykładowej mapie

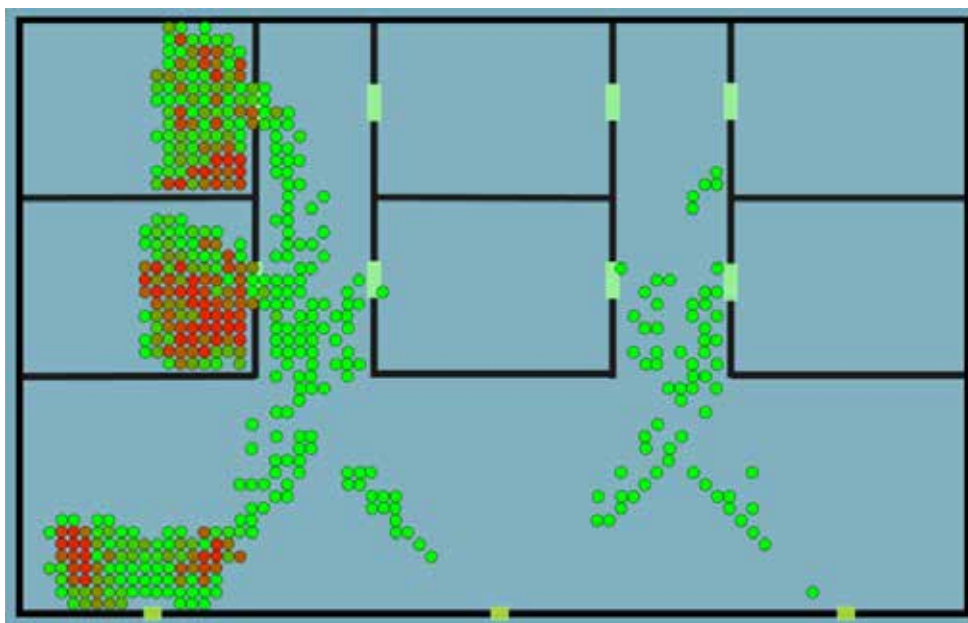
Figure 12. Distribution of actors on a sample map

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

również zagęszczenia aktorów przy danym wyjściu. Obserwację tę potwierdzają diagramy obciążenia wszystkich wyjść w ujęciu procentowym. W modelu **CA** jedno z wyjść (skrajne lewe) jest zdecydowanie najbardziej obciążone – ewakuowało się przez nie ponad 66% wszystkich aktorów na mapie. Natomiast w przypadku modelu **CA-A** rozkład obciążenia jest prawie równy pomiędzy wszystkimi trzema wyjściami. Jeżeli chodzi o czasy symulacji dla obu modeli, to są one bardzo zbliżone i wynoszą odpowiednio: **CA** 97 sekund a **CA-A** 85 sekund. Różnica na korzyść **CA-A** wynika z faktu, iż aktorzy zdecydowanie optymalnie wykorzystują wszystkie dostępne wyjścia, jednakże tracą tym samym cenne sekundy na zmianę swojej decyzji i kierunku

aktorów near a particular exit. This observation is confirmed by the load diagrams of all exits on a percentage basis. In the **CA** model, one exit (the leftmost) is definitely loaded the most – over 66% of all the actors on the map evacuated through this exit. Whereas in the case of the **CA-A** model, load distribution is nearly equal between all three exits. Simulation times for both models are very similar and equal: **CA** 97 seconds and **CA-A** 85 seconds, respectively. The difference in favour of **CA-A** results from the fact that the actors use all the available exits optimally, while losing valuable seconds for changing their decision and movement direction. By evaluating the whole simulation visually it can be observed that the **CA-A** model provides much

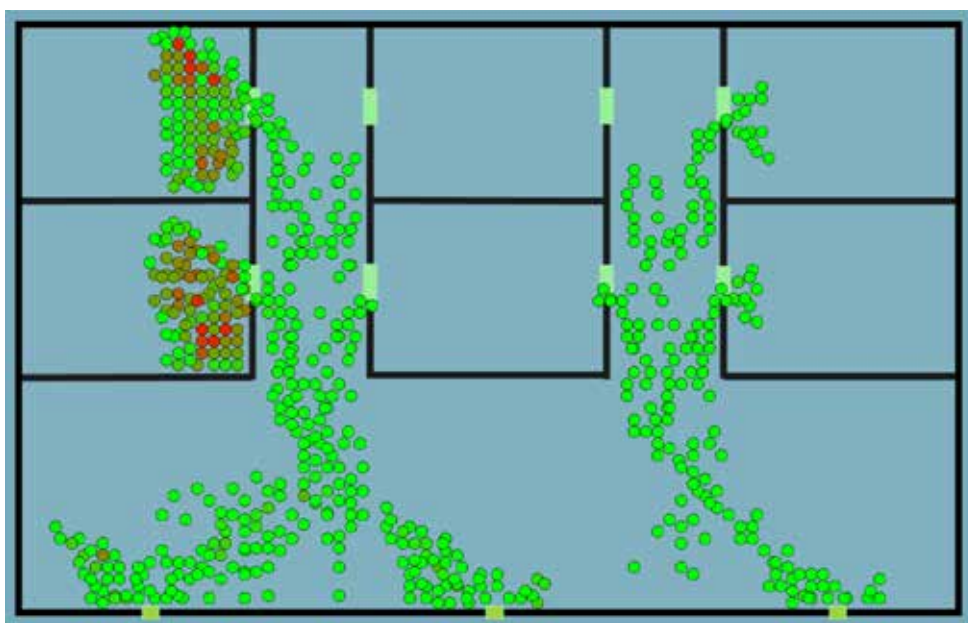


Rycina 13. Przebieg symulacji na przykładowej mapie dla modelu CA

Figure 13. The simulation process on a sample map for the CA model

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 14. Przebieg symulacji na przykładowej mapie dla modelu CA-A.

Figure 14. The simulation process on a sample map for the CA-A model

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

ruchu. Oceniając wizualnie całą symulację, można zauważyć, że model CA-A daje znacznie bardziej realistyczne wyniki i lepiej symuluje zachowania ludzi w prezentowanym scenariuszu.

Przy porównaniu modeli CA-A i CA-B praktycznie niezauważalne są różnice w przypadku statystyk. Dopiero po bliższym przyjrzeniu się ruchowi aktorów podczas symulacji widać, że jeśli w przypadku czystego modelu CA-A ludzie poruszają według idealnego porządku, o tyle w modelu CA-B zauważalne są

more realistic results and better simulates people's actions in the presented scenario.

When comparing the CA-A and CA-B models, there are practically no differences in statistics. Only after a closer look on the movement of actors during the simulation, it can be observed that in the case of the pure CA-A model, people move according to an ideal order. However, in the CA-B model, there are some

chwilowe blokady i zakleszczenia aktorów co nadaje całej wizualizacji jeszcze bardziej rzeczywistego charakteru.

Kolejną ważną kwestią wpływającą na przebieg symulacji są następujące współczynniki:

- **współczynnik dystansu**, który określa poziom ważności dystansu aktora od danego wyjścia potrzebny do określenia funkcji kosztu;
- **współczynnik zagęszczenia**, który określa ważność poziomu zagęszczenia tłumu wokół wyjścia w otoczeniu Moore'a dla zadanego promienia potrzebny dla określenia funkcji kosztu;
- **globalne prawdopodobieństwo blokady** zwane również czynnikiem paniki, wykorzystywane w modelu CA-B do obliczenia prawdopodobieństwa blokady w momencie, gdy dwóch aktorów wybrało docelowo tę samą komórkę w danym kroku czasowym.

Współczynniki dystansu i zagęszczenia są ze sobą ściśle powiązane. W aplikacji użytkownik określa je, przesuwając suwak i określając, czy aktor przy wyborze wyjścia ma się kierować bardziej dystansem czy poziomem zagęszczenia.

Na kolejnej rycinie nr 15 przedstawione zostały wykresy pozostałych aktorów dla dwóch skrajnych przypadków zagęszczenia i dystansu. W pierwszym przypadku współczynnik dystansu został ustawiony na maksymalną wartość (rycina 15 linia a). Natomiast w drugim współczynnik zagęszczenia (rycina 15 linia b).

temporary blockages and jams of actors, which makes the visualisation even more real.

The next important issue affecting the simulation process is the following coefficients:

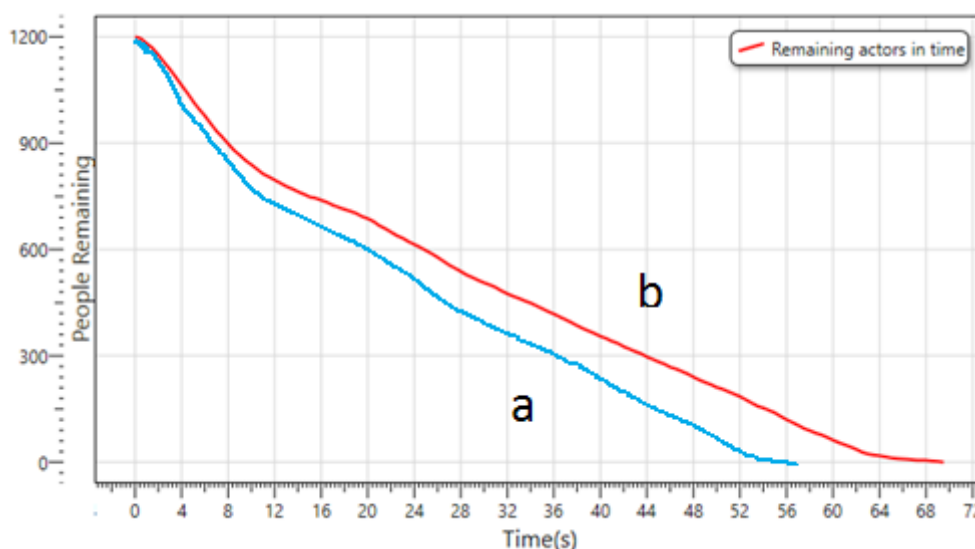
Distance coefficient, defining the level of importance of a distance between the actor and an exit needed to define the cost function;

Density coefficient, defining the importance of the level of crowd density around the exit in Moore neighbourhood for the particular radius necessary to define the cost function;

Global blockage probability also referred to as the panic factor, used in the CA-B model to calculate the probability of the blockage at the moment when two actors chose the same cell in a particular time step.

Distance and density coefficients are closely related to each other. Within the application, the user defines them by moving the slider and defining whether the actor has to take the distance or rather density level into account when selecting the exit.

Figure 15 includes charts of the remaining actors for two extreme cases of density and distance. In the first case, the distance coefficient was set to a maximum value (Fig. 15 line a). In the second case, it is the density coefficient (Fig. 15 line b).



Rycina 15. Wykres pozostałych na mapie aktorów w funkcji czasu dla maksymalnego współczynnika odległości (linia a) oraz dla maksymalnego współczynnika zagęszczenia (linia b)

Figure 15. A graph of the remaining actors on the map as a function of time for the maximum distance factor (line a) and for the maximum density factor (line b)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Jak można zauważyć czas ewakuacji przy maksymalnym współczynniku zagęszczenia wyniósł około 72 sekundy dla 1200 aktorów. Wykres pozostałych na mapie aktorów ma przebieg zbliżony do liniowego. Natomiast diagram użycia wyjść rozkłada się idealnie po równo na każde z trzech po 33%. Dla maksymalnego współczynnika odległości czas symulacji jest znacząco krótszy i wynosi 54 sekundy. Wynikać to może z faktu,

As can be observed, the evacuation time at the maximum density factor approximated 72 seconds for 1200 actors. The chart showing the remaining actors on the map is similar to a line. On the other hand, the exit use diagram distributes ideally equal per each of three at 33%. For the maximum distance coefficient, simulation time is considerably shorter and equals 54 seconds. This may result from the fact that the map prepared

iż przygotowana do symulacji mapa miała równomiernie rozłożone wyjścia względem powierzchni budynku, oraz że aktorzy na mapie zostali rozłożeni bardzo równomiernie, pokrywając całą mapę. Dzięki temu osoby konsekwentnie podążając do najbliższego wyjścia nie traciły czasu na zmiany decyzji jak w przypadku symulacji z maksymalną wartością współczynnika zagęszczenia. Co do użycia wyjść to, w przeciwieństwie do pierwszego przypadku rozkład nie jest już tak idealny (mniejsze użycie wyjście 3), choć obciążenie wyjść było dość równomierne, ale wynikało to bardziej z równomiernego rozłożenia wyjść i aktorów na mapie niż z samego algorytmu.

Podsumowanie

Celem pracy było przedstawienie i porównanie klasycznych modeli dynamiki pieszych symulujących proces ewakuacji ludzi z różnego typu pomieszczeń. Jak zademonstrowano, każdy scenariusz ewakuacji wymaga indywidualnego doboru metod i parametrów. Niestety nie ma możliwości stworzenia uniwersalnego algorytmu i doboru współczynników, tak aby optymalnie opisać każdą sytuację.

Przedstawione wyniki symulacji skłaniają do postawienia ważnego pytania dotyczącego możliwości wiarygodnego symulowania inteligentnego zachowania się ludzi w procesie ewakuacji przy pomocy oprogramowania komputerowego. Odpowiedź na tak zadane pytanie wcale nie okazuje się prosta ponieważ pomimo poprawnego zaimplementowania algorytmów **CA**, **CA-A** oraz **CA-B** pozostaje duży niedosyt w kwestii wiarygodności oraz realizmu przeprowadzonych tymi metodami symulacji. Mechanizmy te okazują się często zbyt proste i niewystarczające do opisanego skomplikowanego procesu ruchu pieszych.

Kolejnym problemem jest optymalizacja. Algorytmy oparte o automaty komórkowe nie są tak proste do zrównoleglenia, zatem przy dużej liczbie aktorów podczas symulacji pojawić się mogą problemy wydajnościowe. Mając na uwadze opisane wyżej problemy, zaproponowano w pracy znaczące usprawnienia algorytmów symulacyjnych. Pierwszym z nich jest wprowadzenie zaawansowanych algorytmów rankingujących **ARA** i **SRA** w celu lepszego i bardziej wiarygodnego wyznaczania ścieżek poruszania się pieszych. Kolejnym autorskim usprawnieniem było wprowadzenie do definicji automatu komórkowego i reguły przejścia pojęcia **pamięci aktora**, dzięki czemu piesi podczas symulacji, pamiętając swoje ostatnie ruchy, poruszają się bardziej płynnie i realistycznie.

Stworzone i zaprezentowane w niniejszej pracy oprogramowanie **CrowdSim** może posłużyć zarówno projektantom, architektom lub konstruktorom, jak i służbom porządkowym, ochronie danego obiektu lub organizatorom imprez masowych. Symulacje wykonane wielokrotnie dla jednego scenariusza przy różnych parametrach wejściowych uwiaryniają problemy i wąskie gardła mogące pojawić się w trakcie ewakuacji z zagrożonego obiektu. Przeprowadzanie takich symulacji na etapie projektowym może bardzo pozytywnie wpłynąć na bezpieczeństwo osób użytkujących dany obiekt jak również poprawić jego funkcjonalność.

for simulation had equally distributed exits in relation to the building area and that the actors on the map were distributed very evenly, covering the whole map. Due to this, persons consequently walking towards the nearest exit did not waste time on changing decisions as in the case of simulation with the maximum value of the density coefficient. As for the use of exits, in contrast to the first case, distribution is not so ideal (lower use at exit 3). Although the load of exits was quite even, it resulted from an even distribution of exits and actors on the map rather than from the algorithm itself.

Summary

The aim of this paper was to present and compare classic models of pedestrian dynamics simulating the process of evacuation of people from various types of rooms. As it was demonstrated, each evacuation scenario requires individual selection of methods and parameters. Unfortunately, there are no possibilities of creating a universal algorithm and selecting coefficients in such a way as to optimally describe all possible situations.

The presented simulation results lead to the important question concerning a possibility of a reliable simulation of the intelligent behaviour of people in the evacuation process with the use of computer software. The answer to such a question turns out not that simple because despite of the properly implemented **CA**, **CA-A** and **CA-B** algorithms, there is a large insufficiency in terms of reliability and realism of simulations conducted with the use of these methods. These mechanisms often turn out to be too simple and insufficient to describe the complex process of pedestrian traffic.

Another problem is posed by optimisation. Algorithms based on cell automata are not so simple to parallel and therefore, in the case of a large number of actors during the simulation, some efficiency issues can occur. Taking the aforementioned issues into account, considerable improvements in simulation algorithms were proposed in the paper. The first one is the introduction of the **ARA** and **SRA** advanced ranking algorithms to determine pedestrian paths in a better and more reliable manner. Another proprietary improvement was the introduction of the concept of **actor memory** to the cell automaton and passage rule definitions. Due to this, pedestrians move more smoothly and more realistically during the simulation by remembering their previous moves.

The **CrowdSim** software created and presented in this work can serve both designers, architects and construction engineers but also for security services or organisers of mass events. Simulations conducted multiple times for one scenario at various output parameters show the issues and bottlenecks which can occur during the evacuation from the building at risk. Such simulations conducted in the design stage can very positively affect safety of people using the building and also improve its functionality.

Opracowanie wykonano w ramach realizacji pracy statutowej S/WI/1/2013 finansowanej ze środków przeznaczonych na naukę MNiSW, prowadzonej na Wydziale Informatyki Politechniki Białostockiej.

The article was written as part of the S/WI/1/2013 statutory work financed from the funds of the Ministry of Science and Higher Education conducted at the Faculty of Computer Science, the Bialystok University of Technology.

Literatura / Literature

- [1] The 9th international conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics August 2018 in Lund, Sweden, [dok. elektr.] <https://www.conferencemanager.dk/PED2018/event.html> [dostęp: grudzień 2018].
- [2] Cellular Automata for Research and Industry, The 13th International Conference and School – Como Italy, September 2018, [dok. elektr.] <http://acri2018.disco.unimib.it/> [dostęp: grudzień 2018].
- [3] The Conference on Traffic and Granular Flow, Washington, DC, USA, July 2017, [dok. elektr.] <https://tgf17.gwu.edu/> [dostęp: grudzień 2018].
- [4] Oasys-software, www.oasys-software.com [dostęp: grudzień 2018].
- [5] Pathfinder: Thunderhead, www.thunderheadeng.com/pathfinder [dostęp: grudzień 2018].
- [6] Exodus: Fire Safety Engineering Group, www.fseg.gre.ac.uk/exodus [dostęp: grudzień 2018].
- [7] Legion Software: Legion, www.legion.com/legion-software [dostęp: grudzień 2018].
- [8] FDS+Evac tools: Ruggiero Lovreglio, www.lovreglio.altervista.org [dostęp: grudzień 2018].
- [9] Goalem Crowd: Goalem, <http://golaem.com/content/product/golaem> [dostęp: grudzień 2018].
- [10] Massive Software, <http://www.massivesoftware.com> [dostęp: grudzień 2018].
- [11] Miarmy Basefount, <http://www.basefount.com/miarmy.html> [dostęp: grudzień 2018].
- [12] Quadstone Paramics, <http://www.paramics-online.com/index.php> [dostęp: grudzień 2018].
- [13] VISSIM, PTV Group, <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/products/ptv-vissim/> [dostęp: grudzień 2018].
- [14] Burstedde C.K., Klauck K., Schadschneider A., Zittartz J., *Simulation of pedestrian Dynamics using a 2-dimensional cellular automata*, „Physica A” 2001, 295, 507–525, [dok. elektr.] <https://pdfs.semanticscholar.org/8afc/062897038b24a0060b7bc2ca62d046b7a82c.pdf> [dostęp: grudzień 2018].
- [15] Klüpfel H.L., *A Cellular Automaton Model for Crowd Movement and Egress Simulation*, PhD thesis, University of Duisburg-Essen, 2003, [dok. elektr.] <https://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DocumentServlet/Document-5477/Disskluepfel.pdf> [dostęp: grudzień 2018].
- [16] Wąs J., *Algorytmy modelowania inteligentnych zachowań dynamiki pieszych z zastosowaniem niehomogenicznych automatów komórkowych*, Praca doktorska, AGH, Kraków 2006, [dok. elektr.] <https://docplayer.pl/45682913-Akademia-gorniczo-hutnicza-im-stanislawa-staszica-w-krakowie-wydzial-elektrotechniki-automatyki-informatyki-i-elektroniki-katedra-automatyki.html> [dostęp: grudzień 2018].
- [17] Barański M., Maciak T., *Automaty komórkowe w modelowaniu ewakuacji, Bezpieczeństwo i technika pożarnicza*, BiTP Vol. 43, Issue 3, 2016, pp. 127–142, DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.12.
- [18] Bouvier E., Cohen E., Najman L., *From crowd simulation to airbag employment: particle systems, a new paradigm of simulation*, “Journal of Electronic Imaging” 1997, 6, 1, s. 94–107.
- [19] Breadth first search, https://en.wikipedia.org/wiki/Breadth-first_search, [dostęp: grudzień 2018].
- [20] Dobrowolski M., *Automaty komórkowe w modelowaniu ewakuacji ludzi*, praca dyplomowa, Politechnika Białostocka, Wydział Informatyki 2017, Promotor T. Maciak.
- [21] Unity3D: Microsoft, <https://unity3d.com/> [dostęp: grudzień 2018].

MGR INŻ. MARIUSZ DOBROWOLSKI – absolwent Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej. Obecnie pracuje jako programista w firmie informatycznej w Białymstoku.

DR HAB. INŻ. TADEUSZ MACIAK – profesor Politechniki Białostockiej, zatrudniony w Katedrze Mediów Cyfrowych i Grafiki Komputerowej Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej, emerytowany profesor Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, były kierownik Zakładu Informatyki i Łączności w SGSP. Autor wielu publikacji związanych z problematyką szeroko pojętej obronności wewnętrznej kraju.

MARIUSZ DOBROWOLSKI M.SC. ENG. – Graduate of the Faculty of Computer Science at the Bialystok University of Technology. He currently works as a software developer in a Bialystok-based IT company.

TADEUSZ MACIAK D.SC. ENG. – Professor of the Bialystok University of Technology, working in the Department of Digital Media and Computer Graphics of the Faculty of Computer Science, the Bialystok University of Technology. Professor emeritus of the Main School of Fire Service (SGSP) in Warsaw, former head of the SGSP Computer Science and Communication Department. Author of many publications on internal state defense.



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.



TWÓJ PARTNER W
BEZPIECZEŃSTWIE

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

laboratoria badawcze
akredytowane
przez PCA

jednostka upoważniona do
wydawania europejskich
i krajowych ocen
technicznych

45 lat doświadczenia



DOPUSZCZENIA WYROBÓW
użytkowanych w ochronie
przeciwpożarowej



**EUROPEJSKA
I KRAJOWA
CERTYFIKACJA**
wyrobnów budowlanych



**CERTYFIKACJA
PODMIOTÓW
ŚWIADCZĄCYCH USŁUGI**
w ochronie przeciwpożarowej



**EUROPEJSKIE I KRAJOWE
OCENY TECHNICZNE**
stałych urządzeń ppoż.
kablów zasilających, sterujących
i komunikacyjnych



BADANIA
sprzętu oraz wyposażenia
jednostek ochrony ppoż.
stałych urządzeń gaśniczych
chemiczne i pożarowe
procesów spalania i wybuchowości
systemów i automatyki ppoż.



**CERTYFIKACJA
DOBROWOLNA**
wyrobnów
do ochrony
przeciwpożarowej



**TESTOWANIE
WYROBÓW
INNOWACYJNYCH**



SZKOLENIA
z zakresu ochrony
przeciwpożarowej



**OPINIE I EKSPERTYZY
TECHNICZNE**

CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ

im. Józefa Tuliszkowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów | tel. +48 22 769 32 00 | cnbop@cnbop.pl | www.cnbop.pl

bryg. dr inż. Robert Piec^{a)*}, st. kpt. dr Barbara Szykuła-Piec^{a)}

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

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

Wprowadzenie do budowania odporności poprzez analizę obszarów szczególnie narażonych na występowanie zdarzeń zagrażających bezpieczeństwu społeczności

An Introduction to Building Resilience through the Analysis of Areas Particularly Exposed to the Occurrence of Events Threatening the Safety of the Community

Введение в построение резистентности через анализ областей, особенно подверженных возникновению событий, угрожающих безопасности сообщества

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest wprowadzenie do języka nauk o bezpieczeństwie pojęcia rezyliencji, a także przedstawienie autorskiej metodyki opracowania mapy zagrożeń w Polsce, jej weryfikacji za pomocą wyników badań sondażowych oraz propozycji projektowania procesu budowania odporności społeczności w oparciu o kulturę zaufania jako składową kapitału społecznego. Jak wiadomo, objaśnianie bezpieczeństwa jako stanu bez zagrożeń jest podejściem błędnym, niemającym odzwierciedlenia w realnym otoczeniu. Zagrożenia towarzyszą ludziom od zawsze. Możemy jedynie podjąć próbę przygotowania się do nich, czynić wysiłki w celu minimalizacji strat oraz odbudowywać dotknięte nimi obiekty – ludzi, wspólnoty, środowisko.

Metody: Pierwszym etapem prac było zdefiniowanie katalogu zagrożeń. Kolejny krok polegał na zidentyfikowaniu zagrożeń złożonego środowiska społecznego. W tym celu przeprowadzono analizę dostępnych, mierzalnych danych zgromadzonych przez właściwe instytucje. Wykorzystano w niej autorską metodę obliczeniową o charakterze ilościowym. W ramach badań społeczności przeanalizowano wyniki sondażu. Artykuł dopełnia teoretyczne ujęcie kultury zaufania wraz z wyjaśnieniem pojęcia kapitału społecznego, które stanowi wprowadzenie do rozważań w kontekście budowania odporności.

Wyniki: W toku wnioskowania wygenerowano dwie grupy województw – bezpieczne oraz niebezpieczne. Wyniki badań ankietowych były podłożem do analiz wybranych obszarów pod względem różnic w postrzeganiu bezpieczeństwa.

Wnioski: W województwach, w których dostępne dane statystyczne wskazują na wysoki poziom zagrożeń, określonych jako niebezpieczne, deklarowane poczucie bezpieczeństwa jest niższe. Zaobserwowane różnice są niewielkie, ale w skali całego badania znaczące. Wyniki analizy statystycznej są zbliżone z rezultatami badań prowadzonych przez GUS oraz przedstawionymi w Diagnostyce Społecznej. Nie podważono konieczności podejmowania działań mających wpływ na minimalizację ryzyka wystąpienia zagrożeń, jednakże podkreślono istotność informowania społeczeństwa o zagrożeniach. Wykorzystując zaproponowaną, łatwą do weryfikacji metodykę wraz z działaniami namnażającymi kapitał społeczny, powstaje synergia będąca silnym budulcem odporności społecznej.

Słowa kluczowe: mapy zagrożeń, bezpieczeństwo, zaufanie, kultura zaufania, kapitał społeczny, odporność

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 21.04.2018; Zrecenzowany: 21.11.2018; Zatwierdzony: 21.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: R. Piec – 0000-0002-5234-5639, B. Szykuła-Piec – 000-0002-4533-232X;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 68–81, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.4>;

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

ABSTRACT

Objective: The aim of this study is to introduce the concept of resilience into the language of security sciences, to contribute to the discussion by presenting the authors' methodology for developing a hazard map in Poland, its verification using survey results and a proposal to design a process of building resilience based on a culture of trust as component of social capital. It has been known that explaining safety as a state with no threats is an erroneous approach that is not reflected in reality. Threats have always been, and will always be, present. We can only try to prepare for them, make efforts to minimise losses and rebuild the affected entities – people, communities and the environment.

Methods: The first stage was to define a list of threats. The next step was to identify threats to a complex social environment, possibly by analysing the available measurable data collected by the relevant institutions, using the authors' quantitative calculation method. In order to study the community, the survey results were analysed. The article complements the theoretical approach to the culture of trust, along with an explanation of the concept of social capital, which is an introduction to the discussion in the context of building resilience.

Results: Two groups of voivodeships were generated during in the course of the study. One of them has included safe, and the other dangerous voivodeships. The conducted research and its results formed the basis for the analysis of selected areas in terms of differences in the perception of security.

Conclusions: In voivodeships where the available statistical data indicate a high level of threats, identified as dangerous, the declared sense of security is lower. The observed differences are small, but significant in the context of the entire study. The results of the statistical analysis coincide with the results of the research conducted by Statistics Poland and presented in the Social Diagnosis. The necessity of taking measures to minimise the risk of threats was not undermined; however, the importance of public information about threats was stressed. Using the proposed easy-to-verify methodology, together with activities that expand social capital, synergy is created, forming a strong building block of social resilience.

Keywords: hazard maps, security, trust, culture of trust, social capital, resilience

Type of article: original scientific article

Received: 21.04.2018; Reviewed: 21.11.2018; Accepted: 21.12.2018;

Authors' ORCID IDs: R. Piec – 0000-0002-5234-5639, B. Szykuła-Piec – 000-0002-4533-232X;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 70–83, pp. 68–81, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.4>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью статьи является введение понятия резистентности в язык наук о безопасности, а также представление авторской методологии разработки карты угроз в Польше, ее проверки с использованием результатов опросов и предложений по разработке процесса построения резистентности сообщества на основе культуры доверия как компонента социального капитала. Как известно, объяснение безопасности как состояния без угроз является ошибочным подходом, который не отображается в реальной среде. Угрозы всегда сопровождали людей. Мы можем только попытаться подготовиться к ним, приложить усилия, чтобы минимизировать потери и восстановить затронутые объекты – людей, сообщества, окружающую среду.

Методы: Первым этапом работы было определение каталога угроз. Следующим шагом было выявление угроз сложной социальной среды. С этой целью был проведен анализ доступных, измеримых данных, собранных соответствующими учреждениями. Использован авторский метод расчета количественного характера. В рамках исследования сообщества были проанализированы результаты опроса. Статья дополняет теоретический подход к культуре доверия вместе с объяснением концепции социального капитала, которая представляет собой введение в дискуссии относительно построения резистентности.

Результаты: В ходе определения выводов были сформированы две группы воеводств - безопасные и опасные. Результаты анкетирования стали основой для анализа отдельных областей с точки зрения различий в восприятии безопасности.

Выводы: в воеводствах, где имеющиеся статистические данные указывают на высокий уровень угроз, и определенных как опасные, заявленное чувство безопасности ниже. Наблюдаемые различия невелики, но значимы в масштабе всего исследования. Результаты статистического анализа совпадают с результатами исследований, проведенных Центральным статистическим управлением и представленных в разделе «Социальная диагностика». Необходимость предпринять действия, влияющие на минимизацию риска угроз, не подвергалась сомнению, однако была подчеркнута важность общественной информации об угрозах. Используя предложенную простую для проверки методологию вместе с действиями, которые умножают социальный капитал, создается синергия, которая является сильным строительным блоком социальной резистентности.

Ключевые слова: карты угроз, безопасность, доверие, культура доверия, социальный капитал, резистентность

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 21.04.2018; Рецензирована: 21.11.2018; Одобрена: 21.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: R. Piec – 0000-0002-5234-5639, B. Szykuła-Piec – 000-0002-4533-232X;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 68–81, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.4>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Budowanie odporności społeczności lokalnych jest jednym z priorytetowych działań systemowych mających wpływ na poczucie bezpieczeństwa i tym samym zaspokajanie podstawowej potrzeby człowieka. Aby móc rozpocząć prace umożliwiające zaplanowanie aktywności inicjujących proces koordynacji zarządzania bezpieczeństwem na poziomie lokalnym, należy zdefiniować problem poprzez skatalogowanie zagrożeń i ich korelację z poczuciem bezpieczeństwa. Autorzy uznali, że warto zaimplementować zarezerwowane dotychczas dla psychologii pojęcie rezyliencji do nauk o bezpieczeństwie. Zjawisko to, zaczerpnięte z doświadczeń psychologii pozytywnej, pochodzi od łacińskiego słowa *resilire* i oznacza dosłownie odskok,

Introduction

Building the resilience of local communities is one of the priority systemic measures influencing the sense of security, which is one of the basic human needs. In order to launch measures enabling the planning of activities to initiate the security management coordination process at the local level, it is necessary to define the problem by listing individual threats and correlating them to the sense of security. The authors consider it worthwhile to implement, within security sciences, the notion of resilience which has previously been used chiefly in psychology. The notion, taken from positive psychology experiments, comes from the Latin word *resilire*, literally meaning to recoil, to jump back or to return to the start [2]. The literature

odbicie, powrót do początku [2]. W literaturze przedmiotu uodparnianie wyjaśniane jest jako nabywanie umiejętności radzenia sobie w sytuacjach trudnych, pewnego rodzaju dostosowanie się – plastyczność wobec otoczenia. Na gruncie nauk społecznych odporność oznacza „zdolność grup lub społeczności do radzenia sobie z zewnętrznymi zagrożeniami i zaburzeniami w wyniku zmian społecznych, politycznych i środowiskowych” [1]. To takie przygotowanie i wzmocnienie wspólnot, aby miały one zdolność do samonaprawiania. To także proces, którego celem jest powrót do stanu równowagi po negatywnych doświadczeniach. Istotne, z punktu widzenia przygotowania wspólnot do wytworzenia cech elastyczności, jest budowanie tożsamości grup i społeczności w kontekście radzenia sobie z potencjalnymi oraz realnymi zagrożeniami. Rezyliencja może dotyczyć trzech wymiarów: indywidualnego, mezostrukturalnego oraz makrostrukturalnego. Może być zdefiniowana w odniesieniu do mierzalnego oraz subiektywnego poczucia bezpieczeństwa. Wymiar indywidualny, obejmujący jednostki, dotyczy m.in. wzmocniania inteligencji emocjonalnej umożliwiającej zarządzanie emocjami własnymi i innych, uodparniania psychiki, namnażania własnego kapitału intelektualnego. Poziom mezostrukturalny to poziom wspólnot lokalnych, społeczności, część państwa żyjąca w jego ramach kulturowych, wyodrębniona pod względem geograficznym i umownym, ze względu na fakt posiadania przez mieszkańców określonego terenu, wspólnych cech, zainteresowań czy też celów [3]. Odporność w tym przypadku to kreowanie wspólnych wartości, wyznaczanie i przestrzeganie norm, wzmocnianie więzi, zaufania i interakcji społecznych, to budowanie pewności o przestrzeganiu prawa, silnego przekonania o dobrze przygotowanych służbach oraz innych podmiotach odpowiedzialnych za utrzymanie ładu społecznego. Analogicznie można zdefiniować odporność w wymiarze makrostrukturalnym, rozszerzając pojęcie o aspekty militarne i ekonomiczne.

Dla dalszych rozważań zatrzymamy się na poziomie mezostrukturalnym i wyjdziemy od identyfikacji zagrożeń mierzalnych, aby na późniejszym etapie analizy zastanowić się, czy i w jakim stopniu ich występowanie wpływa na poczucie bezpieczeństwa. Odpowiedź na tak postawione pytanie stanowić będzie punkt wyjścia do dalszych dyskusji o zasadności podejmowania działań mających wpływ na minimalizację ryzyka zagrożeń bądź o skupieniu się na aktywnościach ukierunkowanych na namnażanie kapitału społecznego, wykształcenie kultury zaufania, a tym samym budowanie odporności wspólnot lokalnych.

Zidentyfikowane zagrożenia w toku autorskich analiz założonych zmiennych

Od niespełna 20 lat, zgodnie z reformą administracyjną, zaczął w Polsce obowiązywać nowy podział terytorialny. Funkcjonuje 16 województw, które to po poziomie centralnym stały się najważniejszą jednostką podziału administracyjnego. Zgodnie z ustawą [19] każde województwo składa się z mniejszych elementów – powiatów, te zaś są utworzone z gmin. W Polsce,

on the subject explains resilience as an ability to deal with difficult situations, to adjust and to be flexible, depending on the circumstances. In social sciences, resilience means “an ability of groups or communities to deal with external threats and disturbances resulting from social, political and environmental changes” [1]. It consists in preparing and strengthening communities so that they would be capable of self-healing. This is a process aimed at regaining balance after some negative experiences. From the perspective of preparing communities to developing flexibility, it is crucial to develop the identity of groups and communities in the context of dealing with potential and real threats. Resilience can refer to three dimensions: individual, mesostructural and macrostructural. It can be defined in relation to a measurable or subjective sense of security. The individual dimension referring to specific persons focuses, inter alia, on developing emotional intelligence enabling the management of one's emotions and those of others, to toughen one's psyche and to multiply one's intellectual capital. The mesostructural level is a level of local communities, the part of a state living in its cultural framework separated in geographical and conventional terms, due to the fact that its residents live in a specific area, as well as have common features, interests or goals [3]. In this case, resilience is creating common values, setting and following standards, strengthening bonds, trust and social interactions, and also building confidence in law enforcement and a strong conviction of the preparedness of the competent services and other entities in charge of maintaining social order. A corresponding definition of resilience at the macrostructural level can be formulated, with the inclusion of military and economic aspects.

Further discussion will focus on the mesostructural level, starting with the identification of measurable threats, followed in the subsequent part of the analysis by considering the degree of their impact on the sense of security. The response to the question will serve as the point of departure to further discussions on the plausibility of taking measures to minimise the risk of threats or focussing on measures aimed at multiplying social capital, developing the culture of trust and, consequently, building the resilience of local communities.

Threats identified in the course of the authors' analyses of the assumed variables

For almost 20 years, i.e. since the administrative reform, a new administrative division has applied in Poland, comprising 16 voivodeships, which, following the central level, have become the major administrative division unit. In compliance with the Act [19], each voivodeship is further divided into districts, which are made of communes. In Poland, as at 30 June 2017,

według stanu z 30 czerwca 2017 r., istnieje 380 powiatów oraz 2478 gmin [7]. Województwa różnią się od siebie w sferze geograficznej, społecznej, ekonomicznej, a także historycznej (m.in. położenie geograficzne, zajmowana powierzchnia, liczba ludności, zamożność, etc.). Te, jak i inne elementy, są kluczowe w odniesieniu do szans i zagrożeń, występujących w każdym z województw. W ramach badań własnych prowadzonych w Szkole Głównej Służby Pożarniczej (SGSP) w 2014 roku podjęto próbę określenia katalogu zagrożeń na potrzeby stworzenia mapy zagrożeń. Kryteria wyboru odnosiły się do wielu płaszczyzn, m.in. kwestii społecznych, ekonomicznych, naturalnych i technicznych. Katalog ten został następnie usystematyzowany w toku rozważań naukowych. Do opracowania katalogu zagrożeń zostali zaproszeni eksperci oraz studenci. W skład zespołu weszły osoby o różnorodnych kompetencjach: z zakresu inżynierii środowiska, socjologii, nauk humanistycznych, inżynierii bezpieczeństwa, studenci SGSP.

W wyniku prac zespołu zostały wyselekcjonowane następujące zmienne opisujące zagrożenia:

- liczba podpażeń na 100 tys. mieszkańców,
- zakłady kategorii ZDR na 100 tys. mieszkańców,
- zakłady kategorii ZDR na 100 km²,
- zakłady kategorii ZZR na 100 tys. mieszkańców,
- zakłady kategorii ZZR na 100 km²,
- procent spalonych lasów,
- liczba zdarzeń o znamionach poważnej awarii przemysłowej na 1 zakład przemysłowy
- katastrofy budowlane na 100 tys. mieszkańców,
- współczynnik migracji międzywojewódzkich,
- współczynnik migracji zagranicznych,
- zarejestrowani w poradniach dla osób z zaburzeniami psychicznymi, uzależnionych od alkoholu na 100 tys. mieszkańców,
- poszkodowani w wypadkach przy pracy na 100 pracujących,
- ofiary śmiertelne w wypadkach drogowych na 100 tys. ludności,
- liczba pożarów na 100 tys. mieszkańców,
- liczba pożarów na 100 km²,
- stopa bezrobocia.

Kolejny etap badań ukierunkowany został na analizę danych statystycznych, która umożliwiła określenie rozkładu bezpieczeństwa w przekroju terytorialnym. Główne źródła danych zostały zaczerpnięte z zasobów Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej oraz Głównego Urzędu Statystycznego.

W celu porównania danych wybrane zmienne odniesiono do 100 tys. mieszkańców lub 100 km². W pierwszej kolejności wyszukano dane, które sukcesywnie przyporządkowano do danego regionu. Dla każdego województwa została przypisana wartość opisująca zagrożenie. W celu określenia poziomu bezpieczeństwa w województwach przypisywano po 1 pkt. trzem województwom, w których występowały najwyższe wartości opisujące zagrożenie, oraz po –1 pkt. województwom, w których występowały najniższe wartości opisujące zagrożenie. Pozostałym województwom przypisano wartość 0. W wyniku obliczeń stworzono wskaźnik opisujący poziom bezpieczeństwa w poszczególnych województwach.

there are 380 districts and 2478 communes [7]. Voivodeships differ from one another in geographical, social and economic terms, as well as in historical aspects (including their geographic location, area, population, prosperity, etc.). Similarly to other elements, these are of key importance in the context of the opportunities and threats occurring in each voivodeship. Under the authors' own studies carried out at the Main School of Fire Service (SGSP) in 2014, an attempt was made to define a list of threats for the purposes of creating a map of threats. The selection criteria included a number of factors, i.e. social, economic, natural and technical. The list was subsequently systematised as part of research considerations. The list of threats was created with the participation of both experts and students. The team consisted of individuals with various backgrounds, including environmental engineering, sociology, humanities, security engineering, and SGSP students.

As a result of the team's work, the following variables describing threats were developed:

- the number of arsons per 100,000 residents,
- upper-tier establishments (UTE) per 100,000 residents,
- upper-tier establishments (UTE) per 100 sq. km,
- lower-tier establishments (LTE) per 100,000 residents,
- lower-tier establishments (LTE) per 100 sq. km,
- the percentage of burned forests,
- the number of events regarded as serious industrial failures per 1 establishment,
- structural disasters per 100,000 residents,
- the inter-voivodeship migration coefficient,
- the foreign migration coefficient,
- individuals registered in outpatient clinics for patients with mental disorders and alcohol addicts per 100,000 residents,
- casualties of accidents at work per 100 employees,
- fatalities in road accidents per 100,000 residents,
- the number of fires per 100,000 residents,
- the number of fires per 100 sq. km,
- the unemployment rate.

Another stage of research focussed on the analysis of statistical data, enabling the territorial breakdown of security. The main sources of data were the Main Headquarters of the State Fire Service and Statistics Poland.

In order to compare the data, selected variables were derived for 100,000 residents or 100 sq. km. The data were found and subsequently attributed to specific regions. A value describing the hazard was assigned to each voivodeship. In order to specify the security level in voivodeships, three of them with the highest hazard values were assigned 1 point each, and –1 point was assigned to each voivodeship with the lowest threat-describing values. The remaining voivodeships were assigned the 0 value. As a result of these calculations, an indicator was created to describe the security level in respective voivodeships.

RESEARCH AND DEVELOPMENT

Tabela 1. Wynik końcowy przeprowadzonych analiz związanych z zagrożeniami w poszczególnych województwach w Polsce

Table 1. The final result of the analyses related to threats in the respective voivodeships in Poland

Województwo / voivodeship	Liczba pkt. opisujących zagrożenia/ Number of points describing the hazard
Dolnośląskie	11
Śląskie	10
Opolskie	9
Lubuskie	6
Mazowieckie	6
Kujawsko-pomorskie	5
Łódzkie	4
Pomorskie	1
Wielkopolskie	1
Lubelskie	0
Podkarpackie	0
Małopolskie	-1
Świętokrzyskie	-2
Podlaskie	-3
Warmińsko-mazurskie	-3
Zachodniopomorskie	-4

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Source: Own elaboration based on research data.

Biorąc pod uwagę rezultaty przeprowadzonej analizy można zauważyć, że najniższe, ujemne wartości opracowanego wskaźnika, świadczące o wysokim poziomie bezpieczeństwa, osiągnęły północne regiony naszego kraju (województwa: zachodniopomorskie -4, podlaskie -3, warmińsko-mazurskie -3). Południowe tereny Polski osiągnęły najwyższe wartości (województwa: dolnośląskie 11 pkt, śląskie 10 pkt., opolskie 9 pkt.), wskazujące na niski poziom bezpieczeństwa.

Taking into consideration the results of the analysis carried out, it can be noted that the lowest negative values of the developed indicator, confirming a high level of security, were reached by northern regions of our country (voivodeships: Zachodniopomorskie -4, Podlaskie -3, Warmińsko-Mazurskie -3). The southern areas of Poland recorded the highest values (voivodeships: Dolnośląskie 11 points, Śląskie 10 points, Opolskie 9 points), pointing to low security levels.



Rycina 1. Obszary najbardziej bezpieczne (kolor zielony) oraz najbardziej niebezpieczne (kolor czerwony) w Polsce

Figure 1. The most secure and the most dangerous areas in Poland

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Source: Own elaboration based on research data.

Kultura zaufania jako hipotetyczna determinanta wpływająca na poczucie bezpieczeństwa mieszkańców

Przy analizie struktur społecznych, więzi, relacji i funkcjonowania wspólnot lokalnych należy uwzględnić tło historyczne, które jest jednym z kryteriów określania kultury zaufania. W warunkach niepewności i ryzyka, w których funkcjonujemy, główną rolę odgrywa zaufanie. Stanowi ono podstawową strategię radzenia sobie z niewiedzą i niemożnością kontrolowania przyszłości. Owa niewiedza i ograniczenia w kontrolowaniu przyszłości stają się głównym czynnikiem niepewności i lęku, których poziom wpływa na poczucie bezpieczeństwa. Tworzenie kultury zaufania w sposób zrozumiały umożliwiłoby ludziom korzystanie w pełni z danych im możliwości m.in. poprzez ułatwienie funkcjonowania i rozwoju w złożonym środowisku społecznym. Trwający proces globalizacji powoduje kształtowanie się nowego społecznego bytu o coraz to ciśniejszych wzajemnych zależnościach: politycznych, gospodarczych, finansowych, kulturowych. Pojawia się globalna współzależność, w której zaufanie jest niezbędnym warunkiem współpracy. Analizując to zagadnienie, należy pamiętać, iż każde ze społeczeństw stanowiących ów byt ma różniące się od siebie systemy wartości zakorzenione głęboko w kulturze, różnie postrzegane jest zaufanie, solidarność, wzajemność, czy też podstawowe formy więzi moralnych. Idealnym, modelowym przykładem społeczeństwa byłoby takie, które swoje istnienie opiera na zaufaniu. Jednak aby taka wspólnota mogła istnieć, konieczne są pewne procesy integracji społecznej, zgoda na wyznawanie tych samych wartości i norm regulujących zasady współistnienia członków danej grupy.

Poprzez przekonanie, że dobrze jest ufać innym oraz samemu wzbudzać zaufanie, społeczeństwa wytwarzają klimat zaufania, który staje się naturalnym środowiskiem relacji interpersonalnych, grupowych, organizacyjnych czy instytucjonalnych oraz przemienia się w kulturę sprzyjającą podejmowaniu działań. Pozbawia on barier w postaci lęku o czystość intencji i uczciwość, jest motorem zachowań prospołecznych. Zdaniem profesora Sztompki zjawisko to składa się z trzech elementów: tła historycznego określonego działania jednostki, kontekstu strukturalnego aktualnego życia społecznego oraz zmiennych pośredniczących – członków społeczności, jednostek wypełniających struktury. Pierwszy z nich, tradycja historyczna, stanowi tło określonej aktywności jednostki i grup społecznych, jest czynnikiem niemodyfikowalnym, wygenerowanym z losów danego społeczeństwa, z jego przeżyć i doświadczeń. Jakość owych dziejów, intensywność zwycięstw, sukcesów, czy też klęsk i porażek, ma znaczący wpływ na postrzeganie teraźniejszości z danej perspektywy. Z jednej strony, posiadając kapitał pozytywnego myślenia, kultura ma szansę charakteryzować się ufnością, optymizmem i sprzyjać rozwojowi, z drugiej zaś, gdy współczesna rzeczywistość opiera się o martyrologię, niepowodzenia z przeszłości, panować będzie klimat tragiczny o cechach podejrzliwości, wrogości i destrukcji [18].

Głównym elementem z punktu widzenia ontologicznego poznania było dookreślenie kontekstu strukturalnego aktualnego

The culture of trust as a hypothetical determinant of the sense of security of residents

In the analysis of social structures, bonds, relationships and the functioning of local communities, the historical background should be considered as one of the criteria of defining the culture of trust. In the conditions of uncertainty and risk, trust plays a major role. It constitutes a basic strategy of coping with not knowing and being unable to control the future. These factors are becoming the main source of uncertainty and anxiety, which in turn impact the sense of security. Creating a comprehensible culture of trust would enable people to fully utilise the opportunities offered to them, inter alia, through facilitating the functioning and development in a complex social environment. The ongoing globalisation process forms the basis for a new social entity with increasingly narrow political, social, financial and cultural interrelations. A global correlation is found, in which trust is an essential condition for cooperation. When analysing this issue, it should be borne in mind that each community constituting such an entity has a different set of values, deeply rooted in its culture, variously perceived as trust, solidarity, reciprocity and basic forms of moral constraints. A perfect model society is one for which the basis of existence is trust. However, in order for such a community to function, certain social integration processes are required, with consent to following the same values and standards regulating the rules of the coexistence of members of a given group.

Through the conviction that it is good to trust others and be trustworthy, societies create an atmosphere of trust, which becomes a natural environment of interpersonal, group, organisational and institutional relationships, and turns into an action-oriented culture. Trust helps to remove barriers such as fear of bad intentions and dishonesty, serving as a motor for pro-social behaviour. According to Professor Sztompka, this phenomenon consists of three elements, i.e. the historical background for the specific actions of an individual, the structural context of the current social life and some intervening variables – members of the society, individuals contributing to the structure. First of them, i.e. historic tradition, is a background for the activities of individuals and social groups, and a non-modifiable factor generated from the history of a given society and its experiences. The quality of the history, or the intensity of victories, successes, failures and defeats, has an essential impact on the perception of the present from a given perspective. On the one hand, with the capital of positive thinking, a culture can be characterised with trust and optimism, as well as facilitate development, and on the other, when contemporary reality is based on martyrdom and failures of the past, the dominating atmosphere has features of suspiciousness, hostility and destruction [18].

From the perspective of ontological cognition, the main aspect was to specify the structural context of the current social life, influenced by factors adapted by the authors for the analyses of both communication and the culture of trust in a hazardous environment, i.e.:

życia społecznego, na który wpływają czynniki zaadaptowane przez autorów do analiz komunikacji oraz kultury zaufania w środowisku zagrożenia, tj.:

- 1) stabilność normatywna – przekonanie o istnieniu jasnego, przejrzystego i stabilnego systemu norm społecznych, wypracowanego wspólnie; wytworzenie przez to poczucia kontroli i przewidywalności stwarzających pewność i poczucie przewidywalności działań w sytuacji utrudnionej percepcji otoczenia w obliczu zagrożeń;
- 2) przejrzystość organizacji społecznej – wartość związana z pewnością posiadania przejrzystych struktur, jasnych zasad działania, przyjaznych instytucji, łatwych do zrozumienia zasad funkcjonowania otoczenia decyzyjnego, którego transparentność jest kluczowym elementem wykształcenia poczucia jawności działań i szczerości intencji;
- 3) trwałość porządku społecznego – poczucie relatywnie trwałego, ze zmianami wynikającymi jedynie z konieczności rozwoju społecznego, porządku, ładu społecznego, który podobnie jak stabilność normatywna utwierdza filary kultury;
- 4) podporządkowanie władzy regułom prawa – pewność funkcjonowania prawidłowego nadzoru i kontroli systemu zarządczego, przeświadczenie o prawidłowym funkcjonowaniu systemu prawnego, czyli kluczowych elementów ścisłego szkieletu organizacyjnego;
- 5) konsekwentne realizowanie uprawnień i egzekwowanie obowiązków – pewność posiadania niezależnych instytucji chroniących interesy jednostek (sądy, trybunały, inspekcje, urzędy), działających zgodnie z określonymi jasno zadaniami i w możliwie najlepszy sposób [16].

Wszystkie te elementy stanowią wyznaczniki wartości współżycia społecznego. Ze względu na brak stosownego opracowania proponowana diagnoza może stanowić kwantifikator właściwych tez zarządzania bezpieczeństwem na poziomie lokalnym.

W każdej z wyżej wymienionych składowych, aby wykształcić oraz utrzymać warunki charakterystyczne dla trwałej kultury zaufania, należałoby podjąć pewne działania polegające m.in. na: budowie i umacnianiu trwałych i pewnych reguł funkcjonowania porządku społecznego, konsekwentnym i bezwzględny egzekwowaniu prawa oraz umożliwieniu ludziom zwrócenia się do odpowiednich instytucji w przypadku naruszania ich praw, budowie efektywności i autorytetu agend kontroli, otwartości i widoczności życia publicznego, jawności, przejrzystości i przewidywalności, umacniania decentralizacji władz, walce z niekompetencją i amoralnością reprezentantów i funkcjonariuszy państwowych, zapewnianiu godności, integralności i autonomii każdego członka społeczeństwa [17].

Trzeci element – człowiek, jego możliwości, wiedza i umiejętności, jego relacje z otoczeniem materialnym i niematerialnym, kapitał intelektualny i społeczny, wspólnoty i grupy, pełni rolę zmiennych pośredniczących, wypełniających kontekst strukturalny.

O wysokiej kulturze bezpieczeństwa, generującej poczucie bezpieczeństwa, można mówić, gdy mierzone nastroje społeczne wskazują na zadowolenie z istniejących struktur,

- 1) normative stability – being convinced of the existence of a mutually developed clear, transparent and stable system of social norms, leading to the sense of control and predictability, which create confidence and the sense of predictability of actions in a situation of hindered perception of the environment, in the event of a hazard;
- 2) transparency of social arrangements – a value associated with confidence in transparent structures, clear operating rules, friendly institutions and comprehensible operating principles of decision-making bodies, whose transparency is a key element for developing the sense of openness of actions and the honesty of intentions,
- 3) durability of social order – a sense of a relatively durable social order, with the only changes resulting from the necessity of social development which, along with normative stability, reinforces the pillars of culture;
- 4) subordinating governing bodies to the rules of law – confidence in the existence of an appropriate supervision and control of the governance system, conviction of the proper functioning of the legal system, i.e. the key elements of the main organisational scaffolding;
- 5) consistency in exercising powers and duties – confidence in the existence of independent institutions protecting the interests of individuals (courts, tribunals, inspectorates, government offices) operating in line with clearly defined tasks in the best way possible [16].

All these elements are the determinants of the quality of social cooperation. Due to the lack of a suitable study, the suggested diagnosis may serve as the quantifier of the right propositions for safety management at the local level.

In each of the mentioned components, in order to develop and maintain conditions typical of a durable culture of trust, certain measures would be necessary, inter alia: creating and reinforcing permanent and proven operating rules of social order, ensuring a consistent and absolute law enforcement, and providing citizens with an option of turning to specific institutions when their rights are violated, building the effectiveness and authority of control agendas, openness and transparency of public life, openness, transparency and predictability, strengthening the decentralisation of authorities, fighting down incompetence and amorality of state representatives and officers, and guaranteeing dignity, integrity and autonomy for each member of the society [17].

The third element – people, their capabilities, knowledge and skills, as well as relationships with the material and non-material environment, intellectual and social capital, communities and groups, play the role of intervening variables complementing the structural context.

One can speak of a high security culture, generating the sense of safety, when the measured public mood points to satisfaction with the existing structures and, in consequence, when social capital resources are sufficient. This is when members of social and local groups feel safe. In the social behaviour sphere, they do not perceive any threats, they are willing to develop and are offered development prospects. They are also convinced of their value for the society and feel secure about their future. Members of such a group are calm, experiencing no anxiety or

a w konsekwencji i stan społecznych zasobów kapitałowych jest wystarczający. Wówczas członkowie grup społecznych i grup lokalnych czują się bezpiecznie. W sferze zachowań społecznych nie odczuwają jakichkolwiek zagrożeń, posiadają możliwości i chęci rozwoju, są przekonani o swojej wartości w danym społeczeństwie, są spokojni o swoją przyszłość. Współistnienie w takiej grupie charakteryzuje się spokojem, brakiem lęku i niepokoju o jutro, zarówno w sferze materialnej (mienie), fizycznej (zdrowie), jak i duchowej (komfort psychiczny umożliwiający realizację życiowych marzeń i celów). Idealna społeczność lokalna o wysokiej kulturze zaufania zdominowana jest przez przekonanie o prawidłowej, odpowiedniej i adekwatnej do sytuacji pomocy i wsparciu współczłonków oraz instytucji działających w obszarze danej społeczności w warunkach zagrażających życiu, zdrowiu czy mieniu. Osoby należące do wspólnoty cechuje aktywność i gotowość do zaangażowania się w tworzenie atrakcyjnej i optymistycznej rzeczywistości, kreowanie przyszłości oraz wysokie poczucie bezpieczeństwa.

Dążąc do stanu, w którym społeczeństwo czuje się bezpiecznie, należy próbować wytworzyć wysoką kulturę zaufania. Tradycję czy bieg historii jest trudno zmienić – choć zdarzały się takie próby. Kontekst strukturalny jest natomiast elementem, który można kształtować, zaś kapitał społeczny, warunkujący zaufanie, pomnażać.

Kapitał społeczny zyskał zainteresowanie jako rokująca teoretyczna perspektywa zrozumienia i przewidywania norm i relacji społecznych zakotwiczonych w strukturach społecznych. To właśnie te wzorce wzajemnych relacji społecznych umożliwiają ludziom koordynowanie działań w celu osiągnięcia pożądanego celu. Według Pierra Bourdieu, francuskiego socjologa, który jako jeden z pierwszych podjął się systematycznej analizy właściwości kapitału społecznego, stanowi on sumę zasobów – rzeczywistych i wirtualnych – przypadających jednostce lub grupie dzięki temu, że posiadają trwałą sieć lub mniej zinstytucjonalizowane związki wzajemnego poznania i uznania. Oznaczają one trwałe zobowiązania i więzi społeczne, takie jak członkostwo w grupie czy sieci, które mogą być zmobilizowane do osiągnięcia dostępu do innych cennych zasobów [2]. Jego koncepcja skupia się na możliwościach wykorzystywania tak rozumianego kapitału przez jednostkę w celu zaspokajania indywidualnych potrzeb. Szersze postrzeganie tego zasobu zasugerował James S. Coleman, który określił kapitał społeczny jako „aspekty struktury społecznej, które wspierają działania aktorów społecznych – indywidualnych czy korporacyjnych w obrębie tej struktury, które przy braku takich cech struktury byłyby nieosiągalne” [4]. Definicja ta podkreśla powiązania między członkami społeczności i wynikające z nich korzyści w ujęciu grupowym oraz potencjał zbiorowości w osiąganiu celów, które pozostają poza zasięgiem jednostek w przypadku samodzielnego działania.

Perspektywa kolektywistyczna, którą stworzył James S. Coleman, została rozszerzona przez Roberta Putnama, traktującego kapitał społeczny jako dobro wspólne, składające się z „zaufania, norm i powiązań, które mogą zwiększyć sprawność społeczeństwa, ułatwiając skoordynowane działania” [14, 15]. Definicja ta stanowi bardziej kompleksowe ujęcie analizowanego zasobu. Elementy składowe kapitału społecznego poszerzone

fear of the future in the material (property), physical (health) and spiritual aspects (mental comfort enabling the realisation of one's dreams and goals). A perfect local community with a high culture of trust is dominated by confidence in the proper and adequate assistance, and support from its members and institutions functioning within the community under conditions posing a threat to life, health or property. Members of the community are active and ready to get involved in the creation of an appealing and optimising reality, building the future and a high sense of security.

For the society to achieve the sense of security, attempts should be made to create a high culture of trust. Tradition or the course of history can hardly be changed although such efforts have been made. The structural context, however, is an element which can be shaped, whereas social capital, which determines trust, can be efficiently multiplied.

Social capital has become popular as a promising theoretical perspective for understanding and predicting social norms and relationships rooted in social structures. These models of social interrelations make it possible for people to coordinate actions to achieve the desired goal. According to Pierre Bourdieu, a French sociologist who was one of the first to undertake a systematic analysis of the characteristics of social capital, it is a sum of the actual and virtual resources available to an individual or a group due to having more or less institutionalised relationships of mutual acquaintance and recognition. These denote permanent social obligations and bonds, such as a membership of a group or network, which can be used to gain access to other valuable resources [2]. His concept focused on the opportunities arising from the utilisation of thus defined capital by a person in order to meet his/her individual needs. A broader definition of this resource was suggested by James S. Coleman who described social capital as “aspects of a social structure that facilitate the actions of individual or corporate social actors within the structure which would otherwise be impossible to achieve” [4]. This definition emphasises connections between community members and the resulting benefits in a group perspective, as well as the community potential to achieve goals which are out of reach of individuals acting independently.

The collectivist perspective created by James S. Coleman was extended by Robert Putman, who treated social capital as a common good consisting of “trust, norms, and networks that can improve the efficiency of society by facilitating coordinated actions” [14, 15]. The definition provides a more comprehensive view on the analysed resource. Social capital components are here expanded with cultural structures (norms of conduct), and the essence of trust is emphasised as an essential factor in the process of building relationships.

In turn, Francis Fukuyama defined social capital as “a capability that arises from the prevalence of trust in society or in certain parts of it” [7, 8]. He extracted trust as the driving force of all relationships and ties, emphasising its special role in the process of reaching common goals. He also drew attention to the significance of cultural pluralism as a determinant of the disproportions of social capital of various groups.

są w niej o struktury kulturowe (normy postępowania), a istota zaufania podkreślona jest jako czynnik niezbędny w procesie budowania relacji.

Francis Fukuyama natomiast określił kapitał społeczny jako „siłę zbiorowości wynikającą z rozpowszechnienia się zaufania w obrębie społeczeństwa czy jego segmentów” [7, 8]. Wyekstrahował on zaufanie jako przyczynę sprawczą wszelkich relacji i powiązań, podkreślając tym samym jej szczególne znaczenie w procesie osiągania celów zbiorowych. Zwrócił on też uwagę na znaczenie pluralizmu kulturowego jako determinantu dysproporcji kapitałów społecznych różnych grup.

Warto podkreślić, iż ujęcie indywidualne i zbiorowe nie wykluczają się wzajemnie. Różni je jedynie punkt odniesienia. Sukces jednostek przekłada się na sukces całego społeczeństwa i na odwrót. Najistotniejsze są możliwości, które są zwiększane przez udział kapitału społecznego w drodze do osiągnięcia celów. Wykorzystanie tych możliwości warunkuje sprawność podejmowanych przedsięwzięć indywidualnych i zbiorowych oraz tym samym wpływa na rozwój osobisty i utrwalanie więzi społecznych.

Pozytywne konsekwencje kapitału społecznego obejmują kontrolę społeczną lub przestrzeganie norm, wsparcie rodziny i świadczenia za pośrednictwem sieci pozarodzinnych. Wykazano także, że mają one wpływ na działania zbiorowe na poziomie społeczności [11, 13] w postaci kontroli społecznych, dzięki którym formalne i jawne kontrole są niepotrzebne. Z drugiej zaś strony, negatywny wpływ kapitału społecznego osadzonego w potężnych, ściśle powiązanych grupach społecznych, niezwiązanych z ogółem obywateli, znajduje potwierdzenie np. w korupcji i nepotyzmie w instytucjach politycznych i rządowych [6, 10]. Istotną cechą kapitału społecznego jest to, że jest relacyjny tzn. znajduje się w strukturze ich relacji [12].

It is worth emphasising that the individual and collective approaches are not mutually exclusive. The only difference between them is the point of reference. The success of an individual contributes to the success of the whole society, and the other way round. The most important aspect refers to the opportunities arising through the contribution of social capital to the achievement of certain goals. Using these opportunities determines the efficiency of both individual and collective endeavours and, at the same time, impacts on personal development and reinforces social bonds.

The positive outcomes of social capital include social control or the following of norms, family support and services received through non-family networks. They have also been proven to impact on collective actions at the community level [11, 13] in the form of social control, which makes formal, explicit control unnecessary. Nevertheless, a negative impact of social capital, based on strong, closely knit social groups unrelated to the society as a whole, is found, inter alia, in the corruption and nepotism in political and governmental institutions [6, 10]. An important feature of social capital is its relationality, i.e. the fact that it lies within the structure of relationships [12].

Weryfikacja metodyki tworzenia mapy ryzyka – korelacje z poczuciem bezpieczeństwa

Aby ocenić zastosowaną metodykę tworzenia mapy zagrożenia, porównano rozkład odpowiedzi na pytania ankietowe, mające ocenić wartość poczucia bezpieczeństwa w województwach, w których stworzony wskaźnik określający poziom bezpieczeństwa przyjął wartości najniższe (województwa bezpieczne) i najwyższe (województwa niebezpieczne). Do analizy wykorzystano wieloaspektowe ankietowe Badania spójności społecznej (BSS), które zrealizował Główny Urząd Statystyczny (GUS) w pierwszej połowie 2015 r. [20]. Jedno z zadanych pytań brzmiało następująco: „Jak bezpiecznie czuje się Pan/Pani, chodząc samotnie w swojej okolicy po zmroku”. Rozkład odpowiedzi na powyższe pytanie w województwach zidentyfikowanych jako bezpieczne i niebezpieczne przedstawiają ryciny 2 i 3.

Wyniki badania spójności społecznej wskazują, że poziom poczucia bezpieczeństwa w skali kraju jest wysoki. Jednocześnie w województwach zaklasyfikowanych jako bezpieczne, wskazania respondentów na odpowiedzi „bardzo bezpiecznie” i „raczej bezpiecznie” są średnio o 3,33% częstsze niż analogiczne wskazania w województwach zaklasyfikowanych jako niebezpieczne.

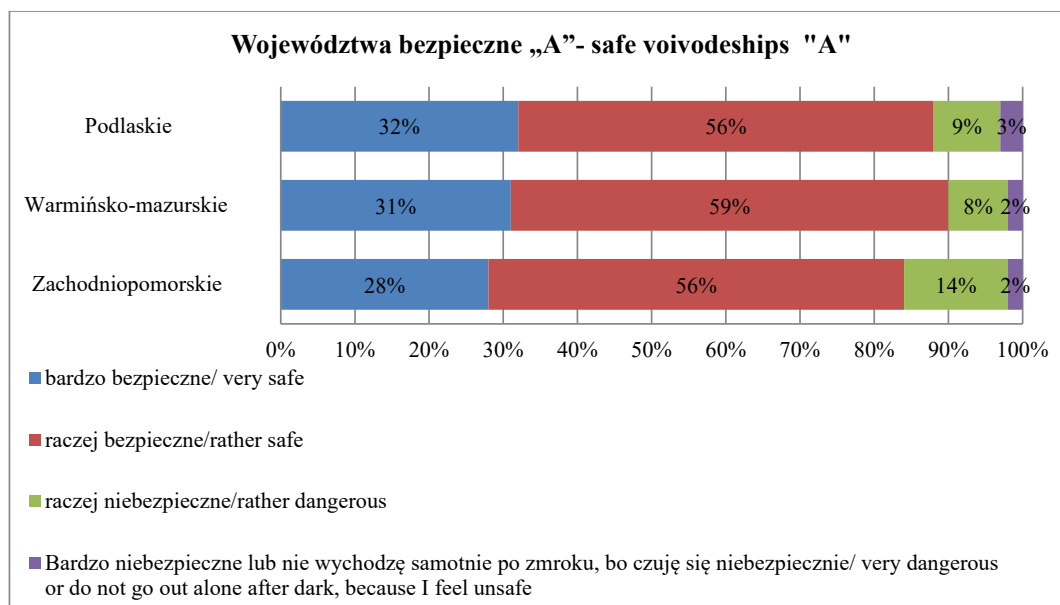
Verification of the methodology of creating a risk map – correlations with the sense of security

In order to assess the applied methodology of creating a hazard map, a comparison was performed of the distribution of responses to the questionnaire questions intended to evaluate the sense of security in voivodeships in which the security level indicator was the lowest (safe voivodeships) and the highest (unsafe voivodeships). The analysis was based on the multifaceted Social Cohesion Survey (BSS) carried out by Statistics Poland (GUS) in the first half of 2015 [20]. One of the questions was: “How safe do you feel when you walk alone in your neighbourhood after dark?” The distribution of answers to the question in the voivodeships identified as safe and unsafe is presented in Figs. 2 and 3.

The results of the Social Cohesion Survey show that the sense of security, in national terms, is high. At the same time, in the voivodeships classified as safe, respondents' choices of “very safe” and “quite safe” were, on average, by 3.33% more frequent than the corresponding indications in the voivodeships ranked as unsafe.

Analogicznie różnie wskazują zadowolenie ze stanu bezpieczeństwa w miejscu zamieszkania respondenci w badaniach określających warunki i jakość życia Polaków „Diagnoza społeczna” [21].

Correspondingly, differences in the satisfaction with the level of security in the place of residence were identified in “Social diagnosis,” a survey focusing on the living conditions and the quality of life of Poles [21].

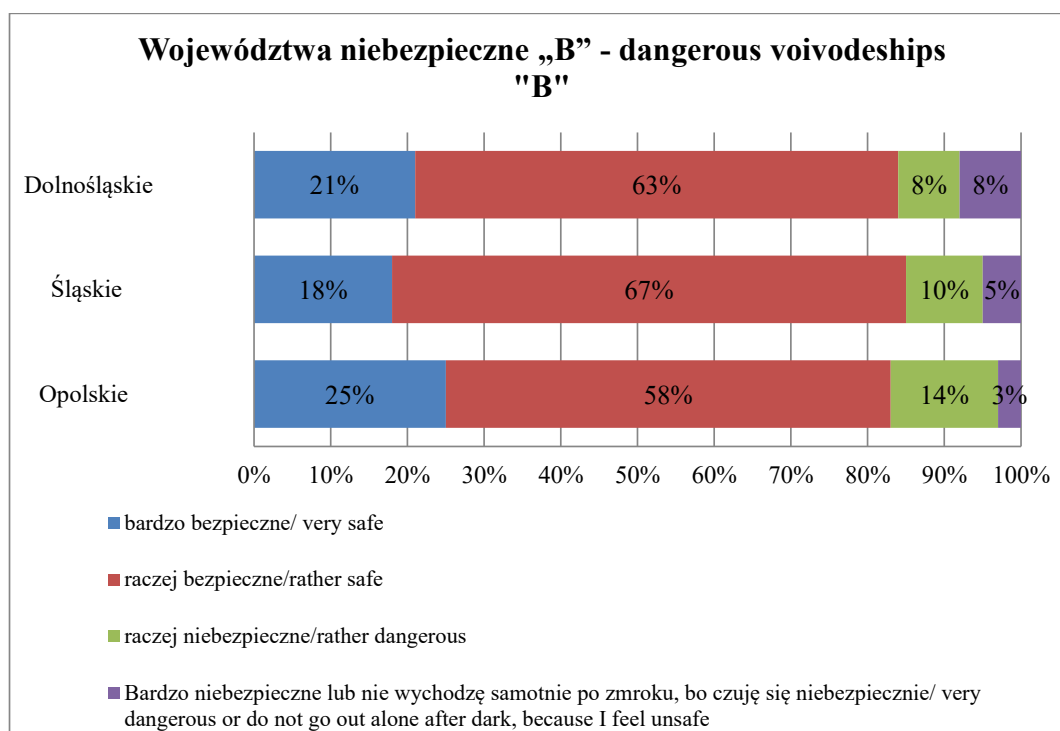


Rycina 2. Rozkład odpowiedzi na pytanie: „Jak bezpiecznie czuje się Pan/Pani chodząc samotnie w swojej okolicy po zmroku” w województwach „A”

Figure 2. The distribution of answers to the question: “How safe do you feel when you walk alone in your neighbourhood after dark” in voivodeships “A”

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych Badania spójności społecznej.

Source: Own elaboration based the Social Cohesion Survey.



Rycina 3. Rozkład odpowiedzi na pytanie: „Jak bezpiecznie czuje się Pan/Pani chodząc samotnie w swojej okolicy po zmroku” w województwach „B”

Figure 3. The distribution of answers to the question: “How safe do you feel when you walk alone in your neighbourhood after dark” in voivodeships “B”

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych Badania spójności społecznej.

Source: Own elaboration based the Social Cohesion Survey.

RESEARCH AND DEVELOPMENT

Tabela 2. Zadowolenie ze stanu bezpieczeństwa w miejscu zamieszkania w województwach

Table 2. Satisfaction with the level of security in the place of residence in the voivodeships

		ZE STANU BEZPIECZEŃSTWA W MIEJSCU ZAMIESZKANIA / WITH THE LEVEL OF SECURITY IN THE PLACE OF RESIDENCE						Total
		BARDZO ZADOWOLONY / VERY SATISFIED	ZADOWOLONY / SATISFIED	DOSYĆ ZADOWOLONY / QUITE SATISFIED	DOSYĆ NIEZADOWOLONY / RATHER DISSATISFIED	NIEZADOWOLO / DISSATISFIED	BARDZO NIEZADOWOLONY / VERY DISSATISFIED	
Województwa / voivodeships	Dolnośląskie	75	619	574	123	52	18	1461
	Kujawsko-Pomorskie	76	562	365	81	25	13	1122
	Lubelskie	98	799	534	112	43	9	1595
	Lubuskie	58	330	212	45	15	7	667
	Łódzkie	140	789	531	115	37	13	1625
	Małopolskie	121	815	539	93	35	13	1616
	Mazowieckie	232	1347	916	170	67	13	2745
	Opolskie	67	368	195	39	17	6	692
	Podkarpackie	90	720	467	84	16	12	1389
	Podlaskie	78	512	262	33	18	11	914
	Pomorskie	165	591	369	74	27	14	1240
	Śląskie	157	1015	783	188	58	31	2232
	Świętokrzyskie	86	605	349	65	22	16	1143
	Warmińsko-Mazurskie	105	451	538	92	27	11	1224
	Wielkopolskie	127	853	562	67	21	9	1639
	Zachodniopomorskie	67	368	286	36	12	9	778
	Total	1742	10744	7482	1417	492	205	22082

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [21].

Source: Own elaboration based on [21].

Przy założeniu, że określimy następujące wagi: dla odpowiedzi „bardzo niezadowolony” przyporządkujemy wartość 1, a odpowiednio dla „bardzo zadowolony” 6, możemy obliczyć (średnia ważona), że zadowolenie ze stanu bezpieczeństwa w województwach o wysokim poziomie bezpieczeństwa jest o 4% wyższe niż w województwach z niskim poziomem bezpieczeństwa.

Upon specifying the following weights: the “very dissatisfied” reply is assigned value 1, and “very satisfied” – 6, it is possible to establish (based on the weighted average) that the level of security in voivodeships with a high level of security is by 4% higher than in voivodeships with a low level of security.

Podsumowanie

Wstępna weryfikacja zidentyfikowanych zagrożeń złożonego środowiska społecznego, przeprowadzona na podstawie analizy dostępnych, mierzalnych danych gromadzonych przez właściwe do tego instytucje oraz przy użyciu autorskiej metody obliczeniowej przyniosła wyniki potwierdzające założenia autorów. W województwach, dla których dane statystyczne wskazują na wysoki poziom zagrożeń, poczucie bezpieczeństwa jest niższe. Według badań spójności społecznej w „województwach bezpiecznych” odpowiedzi „czuje się bardzo bezpiecznie

Summary

A preliminary verification of the identified hazards of a complex social environment, performed on the basis of the available measurable data collected by the relevant institutions with the use of the calculation method developed by the authors, made it possible to obtain results which confirm the authors' assumptions. In the voivodeships in which statistical data point to a high hazard level, the sense of security is lower. According to the Social Cohesion Survey, in “safe voivodeships” the reply “I feel very safe when I walk alone in my neighbourhood after dark,”

chodząc samotnie w swojej okolicy po zmroku” wskazujące na pełne poczucie bezpieczeństwa deklaruje średnio 30% mieszkańców, natomiast w „województwach niebezpiecznych” średnio 20%. Różnice w poczuciu bezpieczeństwa pomiędzy badanymi województwami są niewielkie, ale widoczne. Potwierdzają je wyniki badań prowadzonych przez GUS oraz ujęte w Diagnostyce Społecznej. Tak empirycznie wykazane wskazania skłaniają do dalszych badań. Zbudowano więc mapę zagrożeń dla danych z roku 2017.

pointing to a full sense of safety, was selected, on average, by 30% of residents, while in “unsafe voivodeships” – by an average of 20%. Differences in the sense of security between the analysed voivodeships are minor but visible. They are confirmed by the Statistics Poland surveys and data included in the Social Diagnosis. Such empirically proven results inspire further research. Therefore, a hazard map was created for 2017.

Further analysis of the data of 2017 made it possible to identify changes. It is worth pointing out that the differences

Tabela 3. Wynik końcowy przeprowadzonych analiz związanych z zagrożeniami w danych województwach w Polsce w latach 2015 i 2017

Table 3. The final result of the analyses related to threats in the respective voivodeships in Poland in 2015 and 2017

Województwa/ voivodeships	Liczba pkt. opisujących zagrożenia / Number of points describing the hazard 2015	Liczba pkt. opisujących zagrożenia / Number of points describing the hazard 2017
Dolnośląskie	11	7
Kujawsko-Pomorskie	5	1
Lubelskie	0	-4
Lubuskie	6	-2
Łódzkie	4	-1
Małopolskie	-1	2
Mazowieckie	6	4
Opolskie	9	3
Podkarpackie	0	0
Podlaskie	-3	-5
Pomorskie	1	-1
Śląskie	10	3
Świętokrzyskie	-2	4
Warmińsko-mazurskie	-3	-6
Wielkopolskie	1	-4
Zachodniopomorskie	-4	-1

Źródło: Opracowanie własne na podstawie przeprowadzonych badań.

Source: Own elaboration based on research data.

Analiza danych z 2017 roku wskazała, że nastąpiły zmiany. Warto zwrócić uwagę, że różnice są niewielkie, zatem minimalne zmiany jednego z kryteriów mogą zmienić wynik końcowy. Próba weryfikacji wyników z 2017 roku nie udała się. Diagnostyka społeczna nie kontynuuje obecnie badań. Badania spójności społecznej odbyły się stosunkowo niedawno (od 5 lutego do 30 maja 2018 r.), co skutkuje brakiem dostępu do niepublikowanych jeszcze wyników. Opracowany zbiór zmiennych oceniających poziom zagrożenia nie jest jedynym używanym w Polsce. Zgodnie z Rozporządzeniem Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 3 lipca 2017 r. w sprawie szczegółowej organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego podstawą oceny zagrożeń jest 16 kryteriów (czynników) zagrożenia. Są to: liczba mieszkańców, rodzaj zabudowy, palność konstrukcji budynków, wysokość budynków, kategoria zagrożenia ludzi, zakłady przemysłowe, w tym magazynowe oraz porty rzeczne i morskie, rurociągi do transportu ropy naftowej i produktów naftowych oraz gazociągi, drogi, linie kolejowe, transport drogowy towarów niebezpiecznych, transport kolejowy towarów

are minor, so slight changes to one criterion may affect the final result. An attempt to verify the 2017 results has proven unsuccessful and the Social Diagnosis is not continued. The Social Cohesion Survey was performed quite recently (5 February – 30 May 2018), so the unpublished results cannot be accessed yet. The developed set of variables assessing the hazard level is not the only one applied in Poland. Pursuant to the Regulation of the Minister of the Interior and Administration of 3 July 2017 on the detailed organisation of the National Rescue and Firefighting System, hazard assessment is made on the basis of 16 hazard criteria (factors), such as the number of residents, the type of development, the flammability of building structures, the height of buildings, the hazard category for people, industrial plans, including warehouses, river and sea ports, pipelines for transporting petroleum and petroleum products, gas pipelines, roads, railways, road transport of dangerous goods, rail transport of dangerous goods, watercourses and hydrotechnical structures (flood hazard), watercourses and water reservoirs (drowning hazard), forest fire hazard, airports, airport operating

niebezpiecznych, ciekłowodne i budowle hydrotechniczne (zagrożenie powodziowe), ciekł i zbiorniki wodne (zagrożenie utonięciami), zagrożenie pożarami lasów, lotniska, rejon operacyjny lotnisk oraz lądowiska dla śmigłowców, pozostałe zagrożenia. Lista ta jest ciekawym i cennym zbiorem, lecz część informacji niezbędnych do oceny zagrożeń nie jest dostępna dla szerszego ogółu zagrożonej społeczności.

Jednym z elementów budowy odporności jest dostęp do informacji o zagrożeniach. Na ten aspekt zwraca również uwagę dyrektywa Seveso III [22], w której mowa, że „aby ułatwić dostęp do informacji na temat środowiska (...), udziale społeczeństwa w podejmowaniu decyzji oraz dostępie do sprawiedliwości w sprawach dotyczących środowiska, udziale społeczeństwa w podejmowaniu decyzji oraz dostępie do sprawiedliwości w sprawach dotyczących środowiska, należy poprawić poziom i jakość informacji udostępnianych społeczeństwu (...)”. Tu zaznaczamy wartość aktywności ukierunkowanych na budowanie kapitału społecznego, a tym samym umożliwiających budowanie odporności wspólnot lokalnych, takich jak informowanie społeczeństwa o potencjalnych zagrożeniach w oparciu wiarygodną metodykę.

Zagrożenia niezmiennie są wokół nas. Działania mające wpływ na minimalizację ich ryzyka, zarówno działania „twarde”, „namacalne”, wykształcane w procesach decyzyjnych (m.in. zwiększanie obsady osobowej służb ratowniczych, większa liczba zabezpieczeń technicznych, etc.), jak i „miękkie” kształtujące tożsamość społeczną, poczucie jedności i solidarności społecznej, wzmacniające pewność istnienia wspólnot są niezbędne. Przez powstałą synergię stają się one silnym budulcem odporności społecznej. Warto jednakże pamiętać, że wykształcenie kultury zaufania jest długim i trudnym procesem.

Wykaz skrótów

BBS – Badania Spójności Społecznej
GUS – Główny Urząd Statystyczny
SGSP – Szkoła Główna Służby Pożarnej
ZDR – Zakłady Dużego Ryzyka
ZZR – Zakłady Zwiększonego Ryzyka

areas and helicopter landing pads, and other threats. The list is an interesting and valuable set, but some information required for the assessment of hazards is not available for the communities at risk.

One of the elements of building resilience is access to information on threats. This aspect is also present in Directive Seveso III [22], which stated that “in order to promote access to environmental information (...), public participation in decision-making and access to justice in environmental matters, the level and quality of information disseminated to the public should be improved (...)”. Here emphasis should be placed on actions aimed at building social capital and resilience of local communities, such as informing the society of potential threats on the basis of a reliable methodology.

Threats are always present around us. It is essential to take actions aimed at minimising the risk, including hard and tangible measures developed through decision-making processes (i.e. increasing the staffing of rescue services, more technical protection measures, etc.), as well as soft measures developing social identity, the sense of unity and social solidarity, strengthening confidence in the existence of communities. Through their synergy, they become a strong building block of social resilience. It is worth remembering that developing a culture of trust is a lengthy and difficult process.

List of abbreviations

BBS – the Social Cohesion Survey
GUS – Statistics Poland
SGSP – the Main School of Fire Service
UTE – upper-tier establishments
LTE – lower-tier establishments

Literatura / Literature

- [1] Adger W.N., *Social and ecological resilience: are they related?*, „Progress in Human Geography” 2000, 24(3), 347–364, <http://phg.sagepub.com/content/24/3/347>.
- [2] Bourdieu J.C., Passeron J.C., *The Inheritors: French Students and Their Relation to Culture*, University of Chicago Press, 1979.
- [3] Chaskin R.J., Brown P., Venkatesh S., Vidal A., *Budowanie potencjału społeczności lokalnej*, [w:] *Zmiana w społeczności lokalnej. Szkice o kapitale społecznym w praktyce społecznej i nie tylko*, T. Kaźmierczak (red.), Instytut Spraw Publicznych, Warszawa 2007.
- [4] Coleman J.S., *Foundations of social theory*, Belknap Press of Harvard University Press, Cambridge 1990.
- [5] De Florio V., *On resilient behaviors in computational systems*, https://www.academia.edu/11736157/On_Resilient_Behaviors_in_Computational_Systems_and_Environments [dostęp: grudzień 2018].
- [6] Evans P.B., *Predatory, Developmental and Other Apparatuses: A Comparative Political Economy Perspective on the Third World Stat*, „Sociological Forum” 1989, 4(4), 561–587.
- [7] Fukuyama F., *Wielki Wstrząs. Natura ludzka a odbudowa porządku społecznego*, Bertelsmann Media, Warszawa 2000.
- [8] Fukuyama F., *Zaufanie. Kapitał społeczny a droga do dobrobytu*, PWN, Warszawa–Wrocław 1997.
- [9] Główny Urząd Statystyczny, bip.stat.gov.pl [dostęp: grudzień 2018].
- [10] Mauro P., *Corruption and Growth*, „The Quarterly Journal of Economics” 1995, 110(3), 681–712.
- [11] Molinas J., *The Impact of Inequality, Gender, External Assistance and Social Capital on Local-level cooperation*, „World Development” 1998, 26(3), 413–431.
- [12] Narayan D., Cassidy M.F., *A Dimensional Approach to Measuring Social Capital: Development and Validation of a Social Capital Inventory*, „Current Sociology” 2001, 49/2, 9–102.

- [13] Narayan D., *The Contribution of People's Participation: Evidence from 121 Rural Water Supply Project*, Environmentally Sustainable Development Occasional Paper Series 1. World Bank, Washington D.C. 1995.
- [14] Putnam R. D., *Demokracja w działaniu. Tradycje obywatelskie we współczesnych Włoszech*, Znak, Kraków 1995.
- [15] Putnam R. D., *Samotna gra w kręgle. Upadek i odrodzenie wspólnot lokalnych w Stanach Zjednoczonych*, Wydawnictwa Akademickie i Profesjonalne, Warszawa 2008.
- [16] Sztompka P., *Socjologia. Analiza społeczeństwa*, Znak, Kraków 2005.
- [17] Sztompka P., *Zaufanie, nieufność i dwa paradoksy demokracji*, [w:] *Socjologia. Lektury*, P. Sztompka, M. Kucia (red.), Kraków 2005.
- [18] Szykuła-Piec B., Piec R., *Kultura zaufania jako filar bezpieczeństwa cywilnego*, [w:] *Inżynieria bezpieczeństwa a zagrożenia cywilizacyjne, Wyzwania dla bezpieczeństwa*, CSPSP, Częstochowa 2013.
- [19] Ustawa z dnia 24 lipca 1998 r. o wprowadzeniu zasadniczego trójstopniowego podziału terytorialnego państwa (Dz.U. 1998 nr 96, poz. 603).
- [20] Jakość życia w Polsce, Główny Urząd Statystyczny, [dok. elektr.] http://stat.gov.pl/files/gfx/portalinformacyjny/pl/defaultaktualnosci/5486/16/2/1/jakosc_zycia_w_polsce._edycja_2015.pdf [dostęp: 4.12.2018].
- [21] Diagnoza społeczna: zintegrowana baza danych, www.diagnoza.com [dostęp: 4.12.2018].
- [22] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/18/UE z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie kontroli zagrożeń poważnymi awariami związanymi z substancjami niebezpiecznymi, zmieniająca, a następnie uchylająca dyrektywę Rady 96/82/WE (Dz. Urz. UE L 197/1 z 24 lipca 2012 r.).

ST. KPT. DR BARBARA SZYKUŁA-PIEC – absolwentka Uniwersytetu Warszawskiego, Wydziału Filozofii i Socjologii, Instytutu Socjologii. Liczne szkolenia i kursy z obszaru interwencji kryzysowej umożliwiły jej między innymi kilkuletnią służbę w Interwencyjnym Zespole Psychologicznym. Pod koniec 2014 roku obroniła tytuł doktora socjologii na Uniwersytecie w Białymstoku. Zagadnienia poruszane w rozprawie dotyczyły wpływu czynników społeczno-ekonomicznych na poczucie bezpieczeństwa mieszkańców powiatów. Tematy związane ze stresem, przemocą, dyskryminacją, to oprócz badań nad kulturą zaufania, zachowaniami, relacjami grupowymi, wpływem społecznym, główne obszary zainteresowań. Obecnie kieruje pracami Zakładu Edukacji Społecznej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego SGSP.

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

SENIOR CAPT. BARBARA SZYKUŁA-PIEC, PH.D. – a graduate of the University of Warsaw, the Faculty of Philosophy and Sociology, the Institute of Sociology. Numerous training sessions and courses on crisis intervention enabled her to be admitted for a few years' service at the Intervention Psychology Team. In late 2014, she acquired the degree of Doctor of Sociology at the University of Białystok. Issues discussed in her dissertation included the impact of socio-economic factors on the sense of security of district residents. Subjects related to stress, violence and discrimination are among her main interests, along with research on the culture of trust, behaviour, group relationships and social impact. Currently, she is managing the operations of the Department of Social Education at the Faculty of Civil Security Engineering.

BRIG. ROBERT PIEC, PH.D. ENG. – a graduate of the Main School of Fire Service. He was conferred the degree of Doctor of Technical Sciences in the field of environmental engineering by way of the Resolution of the Scientific Council of the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute. He also completed postgraduate studies in "Management in Hazard" at the Main School of Fire Service, postgraduate studies in "Databases" at the Warsaw School of Information Technology, and postgraduate studies with Ph.D. seminars "Risk Analysis" at the Academy of Finance. He is the author or co-author of numerous articles, monograph chapters and papers presented at national and international conferences. Currently, he is acting in the capacity of Head of the Department of Engineering Security at the Faculty of Civil Safety Engineering of the Main School of Fire Service.



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.

bryg. dr hab. inż. Rafał Porowski^{a,b)*}, prof. dr hab. inż. Zbigniew Kuźnicki^{a)},
bryg. mgr inż. Daniel Małozieć^{b)}, mgr inż. Anna Dziechciarz^{b)}

^{a)}Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechnika Świętokrzyska / Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology

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

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

Oznaczanie toksyczności produktów spalania – przegląd stanu wiedzy

Determination of Toxicity in Combustion Products – State of the Art

Определение токсичности продуктов сгорания – обзор наличия информации

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie przeglądu stanu wiedzy w zakresie oceny toksyczności produktów spalania, emitowanych przede wszystkim podczas rozwoju pożaru w pomieszczeniach. Opisano prace badawcze prowadzone przez ośrodki naukowe na całym świecie, ze szczególnym nastawieniem na badania eksperymentalne w zakresie zjawiska oznaczania toksyczności produktów spalania oraz mierzone podczas tych badań parametry wpływające na zdrowie i życie ludzi. Wyjaśniono również podstawy teoretyczne związane z oddziaływaniem toksycznych produktów spalania, scharakteryzowano czynniki mające wpływ na ich powstanie podczas procesów spalania, jak również parametry krytyczne niezbędne do oceny toksyczności produktów spalania.

Wprowadzenie: Najczęstszą przyczyną śmierci w pożarach stanowi oddziaływanie na organizm ludzki toksycznych gazów. Gazowe produkty spalania – takie jak tlenek węgla i cyjanowodór – są głównym składnikiem toksyn prowadzących do zgonu. Do produktów spalania zalicza się również inne gazy duszące czy drażniące. Ich działanie w układzie oddechowym, w przeciwieństwie do tlenu węgla, polega głównie na utrudnieniu oddychania poprzez powstający śluz. Drażniące działanie na oczy utrudnia ucieczkę z miejsca objętego pożarem. W związku z powyższym pojawia się potrzeba szczegółowych badań nad toksycznością produktów spalania poszczególnych materiałów i wyrobów budowlanych, które są powszechnie stosowane w architekturze oraz budownictwie. Bez wątpienia należą do nich również kable elektryczne, których powłoki zewnętrzne składają się z licznych polimerów i innych tworzyw sztucznych. Każdy pożar charakteryzuje się określonymi etapami rozwoju. Pierwszy z nich stanowi prawie zawsze powolny rozkład termiczny. Temperatura, w jakiej materiał zostaje poddany rozkładowi termicznemu, również ma duże znaczenie dla rodzaju i ilości uwalnianych się substancji chemicznych.

Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie przeglądu literatury oraz dostępnych wyników prac naukowych dotyczących oznaczania toksycznych produktów spalania – szczególnie podczas rozwoju pożarów w pomieszczeniach.

Wnioski: W środowisku pożaru odkryto dużą ilość znanych chemikaliów o właściwościach drażniących. Wytwarzają się one podczas pirolizy i utleniania materiałów. Produkty spalania powstałe z różnych materiałów są często bardzo podobne. Dla wielu tworzyw organicznych, a szczególnie dla prostych polimerów węglowodorowych (takich jak polipropylen lub polietylen) główne produkty pirolizy składające się z różnych fragmentów węglowodorowych są nieszkodliwe. Kiedy polipropylen poddany jest pirolizie, powstają produkty takie jak etylen, etan, propen, cyklopropan, metanal, butan, aldehyd octowy, toluen, styren, a ich atmosfera nie ma wpływu na ssaki naczelne. Gdy produkty zostaną utlenione podczas bezpłomieniowego rozkładu w powietrzu, niektóre z nich są przekształcane w bardzo drażniące produkty. Taka atmosfera okazała się silnie drażniąca dla myszy i ssaków naczelnych. Oprócz toksycznych gazów pożarowych, utratę podstawowych funkcji życiowych w organizmie ludzkim podczas pożaru może również powodować dym. Ogranicza on nie tylko widoczność, ale także zawiera rozdrobnioną materię, która jest na tyle mała, by stwarzać zagrożenie dla układu oddechowego. Rozkład wielkości cząstek zależy od materiału, temperatury i stanu pożaru. Typowy rozmiar kulistych kropelek dla spalania tlącego wynosi 1 µm, podczas gdy nieregularne cząstki sadzy są znacznie większe. Ich badanie jest jednak bardziej wymagające i w znacznym stopniu zależy od technik pomiaru i próbkowania.

Słowa kluczowe: toksyczność pożarowa, produkty spalania, gazy pożarowe

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 05.12.2018; Zrecenzowany: 11.12.2018; Zatwierdzony: 21.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: R. Porowski – 0000-0001-7912-4222; D. Małozieć – 0000-0003-4929-8656; A. Dziechciarz – 0000-0003-4014-7819;

Procentowy wkład merytoryczny: R. Porowski – 60%; Z. Kuźnicki – 10%; D. Małozieć – 10%; A. Dziechciarz – 20%;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 82–98, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.5>;

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

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to present the state of the art on toxicity assessment of combustion products which may occur during indoor fire development. The authors described the results of studies carried out by research institutions all over the world, with a particular focus on the determination of combustion products and parameters measured during such studies which have an impact on human life and the environment. An outline was also presented of the fundamental and theoretical aspects of mechanisms of toxic combustion product formation and certain factors contributing to such formation during combustion processes as well as critical parameters which may prove essential for the assessment of combustion product toxicity.

Introduction: Most of deaths caused by fires result from the impact of toxic gases on the human body. Gaseous combustion products, such as, carbon monoxide and hydrogen cyanide, are the major components of lethal toxins. The combustion products also include other asphyxiant or irritant gases. Their action in the respiratory system, in contrast to carbon monoxide, consists mainly in causing difficulty of breathing as a result of the produced mucus. And their eye-irritating effect makes it difficult to escape from the place of the fire given the limited visibility caused by smoke. Due to the above, there is a need for detailed research on the toxicity of combustion products of specific construction materials and products that are commonly used in architecture and construction. The materials and construction products in question include electric cables, whose external coatings often contain a whole range of polymers and other plastics. Each fire is characterised by specific stages of development. The first of them will almost always be a slow thermal breakdown. The temperature at which the material is subjected to thermal decomposition is also important for the type and amount of chemicals released.

Methodology: The paper was prepared on the basis of the state of the art taken from the available literature and research results on determination methods of toxic combustion products in particular during indoor fire development.

Conclusions: A large number of known irritant chemicals have been found in the fire environment. Irritant chemicals are formed during the pyrolysis and oxidation of materials, and the combustion products of various materials are often very similar. For many organic materials, and especially for simple hydrocarbon polymers, such as polypropylene or polyethylene, the main pyrolysis products consisting of various hydrocarbon fragments are harmless. Polypropylene pyrolysis products include ethylene, ethane, propene, cyclopropane, formaldehyde, butane, acetaldehyde, toluene and styrene are formed, which do not affect primates. When products are oxidised during flameless decomposition in the air, some of them are transformed into very irritating products. Such an atmosphere proved strongly irritating to mice and primates. In addition to toxic fire gases, the loss of basic vital functions in humans during a fire can also be caused by smoke. It not only limits visibility, but also contains fragmented matter, which is small enough to pose a threat to the respiratory system. The particle size distribution depends on the material, temperature and stage of the fire. The typical size of spherical droplets for smoldering is 1 µm, while irregular soot particles are considerably larger, harder to identify and heavily dependent on the measurement and sampling methods.

Keywords: fire toxicity, combustion products, fire effluents

Type of article: review article

Received: 05.12.2018; Reviewed: 11.12.2018; Accepted: 21.12.2018;

Authors' ORCID IDs: R. Porowski – 0000-0001-7912-4222; D. Małozieć – 0000-0003-4929-8656; A. Dziechciarz – 0000-0003-4014-7819;

Percentage contribution: R. Porowski – 60%; Z. Kuźnicki – 10%; D. Małozieć – 10%; A. Dziechciarz – 20%;

Please cite as: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 82–98, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.5>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью данной статьи является представление общего состояния знаний в области оценки токсичности продуктов сгорания, выделяемых преимущественно при возникновении пожара в помещениях. Были описаны исследовательские работы, проводимые исследовательскими центрами по всему миру, с особым акцентом на экспериментальные исследования феномена токсичности продуктов сгорания и параметры, влияющие на здоровье человека и жизнь, определенные в ходе этих испытаний. Была также объяснена теоретическая основа, связанная с воздействием токсичных продуктов сгорания, охарактеризованы факторы, влияющие на их образование в процессе сгорания, а также критические параметры, необходимые для оценки токсичности продуктов сгорания.

Введение: Наиболее распространенной причиной смерти при пожарах является воздействие токсичных газов на организм человека. Газообразные продукты сгорания, такие как угарный газ и цианистый водород, являются основным компонентом токсинов, приводящим к смерти. Продукты сгорания также включают другие удушающие газы или раздражители. Их влияние на дыхательную систему, в отличие от угарного газа, состоит главным образом в затруднении дыхания через возникающую слизь. Раздражающее действие на глаза затрудняет выход из зоны, покрытой огнем. В связи с вышесказанным возникает необходимость детального исследования токсичности продуктов сгорания конкретных материалов и строительных изделий, которые широко используются в архитектуре и строительстве. Несомненно, они также включают в себя электрические кабели, внешние оболочки которых состоят из многочисленных полимеров и других пластиков. Каждый пожар характеризуется определенными этапами развития. Первый из них, почти всегда – это медленное термическое разложение. Температура, при которой материал подвергается термическому разложению, также имеет большое значение для типа и количества высвобождаемых химических веществ.

Методология: Статья была составлена на основе обзора литературы и имеющихся результатов научных работ по определению токсичных продуктов сгорания, особенно при возникновении пожаров в помещениях.

Выводы: В условиях пожара было обнаружено большое количество известных химикатов с раздражающими свойствами. Они образуются во время пиролиза и окисления материалов, и продукты сгорания, полученные из различных материалов, часто очень похожи. Для многих органических материалов, и особенно для простых углеводородных полимеров (таких как полипропилен или полиэтилен), основные продукты пиролиза, состоящие из различных углеводородных фрагментов, безвредны. Когда полипропилен подвергается пиролизу, образуются такие продукты, как этилен, этан, пропен, циклопропан, метан, бутан, ацетальдегид, толуол, стирол, и их действие не оказывает влияния на человекообразных приматов. Когда продукты окисляются во время беспламенного разложения на воздухе, некоторые из них превращаются в очень раздражающие продукты. Такая атмосфера оказалась сильно раздражающей для мышей и приматов. В дополнение к токсичным газам при пожаре, к потере основных жизненно важных функций организма человека во время пожара также может привести дым. Он ограничивает не только видимость, но и содержит фрагментированные мелкие вещества, которые представляют угрозу для дыхательной системы. Распределение частиц по размерам зависит от материала, температуры и условий пожара. Типичный размер сферических капель при тлении составляет 1 мкм, в то время как нерегулярные частицы сажи намного крупнее, их сложнее определить и такое определение в значительной степени зависит от метода измерения и положения при отборе проб.

Ключевые слова: пожарная токсичность, продукты сгорания, пожарные газы

Вид статьи: обзорная статья

Пинята: 05.12.2018; Рецензирована: 11.12.2018; Одобрена: 21.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: R. Porowski – 0000-0001-7912-4222; D. Małozieć – 0000-0003-4929-8656; A. Dziechciarz – 0000-0003-4014-7819;

Процентное участие в подготовке статьи: R. Porowski – 60%; Z. Kuźnicki – 10%; D. Małozieć – 10%; A. Dziechciarz – 20%;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 82–98, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.5>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Najczęstszą przyczyną śmierci w pożarach jest oddziaływanie na organizm ludzki toksycznych gazów. Gazowe produkty spalania – takie jak tlenek węgla i cyjanowodór – są głównym składnikiem toksyn prowadzących do zgonu. Do produktów spalania zalicza się również inne gazy duszące czy drażniące. Ich działanie w układzie oddechowym, w przeciwieństwie do tlenku węgla, polega głównie na utrudnieniu oddychania poprzez powstający śluz. Drażniące działanie na oczy utrudnia ucieczkę z miejsca objętego pożarem. W związku z powyższym pojawia się potrzeba szczegółowych badań nad toksycznością produktów spalania poszczególnych materiałów i wyrobów budowlanych, które są powszechnie stosowane w architekturze oraz budownictwie. Bez wątpienia należą do nich również kable elektryczne, których powłoki zewnętrzne składają się z licznych polimerów i innych tworzyw sztucznych.

Każdy pożar charakteryzuje się określonymi etapami rozwoju. Pierwszy z nich stanowi prawie zawsze powolny rozkład termiczny. Temperatura, w jakiej materiał zostaje poddany rozkładowi termicznemu, również ma duże znaczenie dla rodzaju i ilości uwalnianych się substancji chemicznych [4]. Jednym ze składników dymu pożarowego jest sadza [5]. Ilość sadzy, która jest wytwarzana podczas procesów spalania związków organicznych, zależy od rodzaju płomienia. Sadza i inne stałe substancje węglowe powstają przede wszystkim przy niedoborze tlenu, który określa się poprzez stosunek C/O. Dlatego też duża emisja sadzy ma miejsce wówczas, gdy wielkość wskaźnika C/O przekroczy krytyczną wartość równą 1. Na podstawie wielu badań doświadczalnych dowiedziono, że rodzaj płomienia, jak również rodzaj spalanej paliwa mają wpływ na właściwości utworzonej sadzy [6]. W związku z powyższym próbkowanie i analiza produktów spalania są niezbędne w wielu dziedzinach ochrony życia oraz w badaniach nad wpływem danych procesów na środowisko. Typowym wynikiem takich analiz jest lista związków chemicznych oraz ich koncentracja w spalinach w danym czasie lub w jego przedziałach, a także w danym miejscu podczas (oraz prawdopodobnie po) okresie generacji spalin. W zależności od celu takiego badania, wymagania dotyczące jego efektów mogą być bardzo różnorodne – począwszy od bardzo dokładnych, uwzględniających funkcję czasu oraz określających poszczególne udziały masowe związków i zamkniętych w obszernej liście, kończąc na zwykłym oszacowaniu pojedynczego komponentu. Sporadycznie wykorzystywane metody w innych dyscyplinach nauki – w tym na przykład w inżynierii środowiska

Introduction

The most common cause of death in fires is the impact of toxic gases on the human body. Gaseous combustion products, such as carbon monoxide and hydrogen cyanide, are the main components of deadly toxins. Combustion products also include other asphyxiant and irritant gases. Their action in the respiratory system, as opposed to carbon monoxide, consists mainly in causing difficulty breathing as a result of the produced mucus. An eye-irritating effect makes it difficult to escape from the place of the fire given the limited visibility caused by smoke. Due to the above, there is a need for detailed research on the toxicity of combustion products of specific construction materials and products that are commonly used in architecture and construction. The materials and construction products in question include electric cables, whose external coatings often contain a whole range of polymers and other plastics.

Each fire is characterised by specific stages of development. The first of these is almost always a slow thermal breakdown. The temperature at which the material is subjected to thermal decomposition is also important for the type and amount of chemicals released [4]. One of the components of fire smoke is soot [5]. The amount of soot produced during the combustion of organic compounds depends on the type of flame. Soot and other carbon solids are formed primarily in the conditions of oxygen deficiency determined by the C/O ratio. Soot emission is high when the C/O ratio exceeds the critical value equal to 1. Based on numerous experimental studies it was proven that the types of flame and fuel have an impact on the properties of the generated soot [6]. Due to the above, sampling and analysis of combustion products is necessary in various areas related to the protection of life, and in research on the influence of specific processes on the environment. A typical outcome of such analyses is a list of chemicals and their concentration in fumes over a specific time or time intervals as well as in a specific location during (and presumably after) the fumes generation. Depending on the objective of the analysis, requirements as to its results may vary, from very detailed, time-specific data on the mass content of compounds arranged in a comprehensive list, to a simple estimation of a single component. Methods rarely used in other scientific disciplines, such as environmental engineering for determining atmospheric pollution, require special sampling and an-depth analysis of components and of chemical reactivity in order to generate reliable results. Due to the destructive impact of combustion products on human health,

w zakresie zanieczyszczenia atmosfery – do wygenerowania wartościowych wyników wymagają specjalnego próbkowania oraz dogłębnej analizy składu, jak również reaktywności chemicznej. Ze względu na destruktywny wpływ produktów spalania na zdrowie ludzkie równie istotna jest znajomość procesów zachodzących z upływem czasu i w różnej odległości od źródła spalania. Typowe właściwości produktów spalania, które sprawiają, że bardziej tradycyjne metody próbkowania oraz analizy są nieodpowiednie, to przede wszystkim [7]:

- wysoka temperatura, która może przekraczać 1000°C;
- obecność aerozoli (stałych i ciekłych) z szeroką gamą rozmiarów cząstek oraz ich rozkładem, wraz z zaadsorbowanymi i zaabsorbowanymi związkami chemicznymi;
- zawartość kondensujących i niekondensujących organicznych i nieorganicznych gazów (np. pary wodnej);
- duża turbulencja, z przestrzenną i czasową różnorodnością koncentracji;
- bardzo szeroka gama związków, jak również ich koncentracja, szybko zmienna w czasie i przestrzeni w zależności od źródła spalania;
- obecność kwasowych lub powodujących korozję związków;
- obecność związków rozpuszczalnych w wodzie i/lub wysoko reaktywnych związków skutkujących ubytkami podczas próbkowania.

the knowledge of processes occurring after specific time and at various distances from the source of combustion is also essential. The typical properties of combustion products for which the more traditional sampling and analysis methods are unsuitable include especially [7]:

- high temperature which may exceed 1000°C;
- the presence of (solid and liquid) aerosols with various particle sizes and distribution, along with adsorbed and absorbed chemicals;
- the presence of condensing and non-condensing organic and inorganic gases (e.g. water vapor);
- high turbulence with spatial and temporal concentration variability;
- an extensive range of compounds and their concentration rapidly changing over time and across space, depending on the source of combustion;
- the presence of acidic or corrosive compounds;
- the presence of compounds soluble in water and/or highly reactive compounds resulting in losses during sampling.

Oddziaływanie toksycznych produktów spalania na organizm ludzki

Główne toksyczne produkty spalania podzielić należy na gazy duszące, gazy drażniące oraz cząstki stałe [6]. Duszące gazy obniżają zaopatrzenie tkanek organizmu w tlen.

W rezultacie uszkodzony zostaje ośrodkowy układ nerwowy, dochodzi do utraty świadomości i w końcu do śmierci. Negatywny wpływ gazów na organizm zwiększa się wraz z ich dawką. W skład gazów duszących wchodzi tlenek węgla oraz cyjanowodór [1]. Działanie toksyczne tlenku węgla polega na tym, że hemoglobina zawarta w erytrocytach krwi dwiesięcie razy lepiej łączy się z tlenkiem węgla niż z tlenem. Połączenie tworzone z hemoglobiną zwane jest karboksyhemoglobiną COHb. Jest ono trwalsze w stosunku do połączenia tlenu z hemoglobiną, oksyhemoglobiną, mającą na celu transport tlenu do tkanek [9]. Powoduje ono zanik mentalnej i mięśniowej ochrony organizmu. Tlenek węgla łączy się również z mioglobina w komórkach mięśniowych, co zmniejsza dyfuzję tlenu do mięśnia sercowego i mięśni szkieletowych. Ekspozycja na poziomie 10 ppm w krótkim czasie powoduje osłabienie mentalne oraz percepcji wzrokowej. Do 100 ppm występują zawroty i ból głowy oraz osłabienie. Na poziomie 250 ppm dochodzi do utraty przytomności. Oddychanie przy 1000 ppm prowadzi do nagłej śmierci. Podejrzewa się, że długotrwała ekspozycja niskiego poziomu tlenku węgla skutkuje zaburzeniami układu oddechowego oraz działania mięśnia sercowego [1]. Cyjanowodór jest w przybliżeniu dwadzieścia pięć razy bardziej toksyczny od tlenku węgla. W wyniku hydrolizy we krwi powoduje powstanie jonu

The impact of toxic combustion product on human body

The main toxic combustion products can be divided into asphyxiant gases, irritant gases and solid particles [6]. Asphyxiant gases reduce oxygen supply to bodily tissues, leading to the damage of the central nervous system, loss of consciousness and eventually death. The negative impact of gases on the body increases with dose. Asphyxiant gases include carbon monoxide and hydrogen cyanide [1]. The toxic effect of carbon monoxide is due to the fact that haemoglobin present in erythrocytes is two hundred times more likely to bind with carbon monoxide than with oxygen. The complex with haemoglobin is called carboxyhaemoglobin (COHb). It is more stable compared to the oxygen-haemoglobin complex, oxyhaemoglobin, which transports oxygen to tissues [9]. It causes the body to lose its mental and muscular protection abilities. Carbon monoxide also binds with myoglobin in muscle cells, which reduces oxygen diffusion to the heart and skeletal muscles. Exposure at the level of 10 ppm quickly impairs mental powers and visual perception. With an exposure up to 100 ppm the symptoms include dizziness, headache and weakness. At the level of 250 ppm, there is loss of consciousness. Breathing in a concentration of 1000 ppm leads to sudden death. It is suspected that long-term exposure to low levels of carbon monoxide may result in respiratory system and cardiac disorders [1]. Hydrogen cyanide is approximately twenty five times more toxic than carbon monoxide. As a result of hydrolysis, cyanide ions are formed in blood [9]. Unlike carbon monoxide, which remains in blood, cyanide ions

cyjanku [9]. W odróżnieniu od tlenku węgla, który pozostaje we krwi, jony cyjanku są rozprowadzane w płynie pozakomórkowym tkanek i narządów. Działanie cyjanowodoru identyfikują dwa mechanizmy. Pierwszy to łączenie się z jonem żelaza w mitochondrialnej oksydazie cytochromowej, hamowanie transportu elektronów w układzie cytochromu oraz użycia tlenu przez komórki. Drugi to znaczne pogorszenie częstotliwości oddechu, a także niedotlenienie organizmu, drgawki, zatrzymanie oddechu i śmierć. W przeciwieństwie do dobrze zdefiniowanych efektów gazów duszących, efekty gazów drażniących są bardziej złożone. Obezwładniające substancje drażniące oraz dym mogą być przyczyną problemów podczas ucieczki z pożaru. Większość drażniących produktów spalania powoduje oznaki i symptomy podrażnienia zmysłów i górnych dróg oddechowych oraz podrażnienia płucne. Jednakże wyniki sekcji zwłok pokazują, iż wymienione symptomy są podobne do skutków działania wysokiej temperatury. Podrażnienia sensoryczne oraz górnych dróg oddechowych wywołują stymulację trójdzielných receptorów nerwu błędnego w oczach, nosie, gardle, górnych drogach oddechowych, powodując dyskomfort i silny ból [1, 9]. Ośrodkowy system nerwowy u myszy w odpowiedzi na kwaśne i organiczne gazy drażniące hamuje częstotliwość oddechów do 10% normalnej wartości, podczas gdy u ludzi i pozostałych naczelných ten sam bodziec powoduje hiperwentylację, zwiększając przyjmowanie innych substancji toksycznych [1]. Skutki działań drażniących to łzawienie, mrugające powieki, ból w nosie, gardle i klatce piersiowej, a także kaszel, nadmierne wydzielanie śluzu, skurcz krtani i oskrzeli, zatrzymanie oddechu. Przy dostatecznie dużym stężeniu lub przy połączeniu z cząstkami mikronowymi (takimi jak sadza) większość substancji drażniących może wnikać głębiej do płuc, wywołując podrażnienie płucne, które może spowodować niewydolność oddechową i śmierć. Zwykle występuje ona od kilku godzin do kilku dni po ekspozycji, z powodu obrzęku płucnego [2].

Chlorowodor HCl i bromowodor HBr są silnymi kwasami, które całkowicie dysocjują w wodzie. Obydwa mogą być obecne w gazach pożarowych, wydzielając się np. z polichloru winylu lub z bromowanych środków zmniejszających palność. Ponieważ uszkodzenia spowodowane przez kwasowość H^+ są niezależne od anionów Cl^- , Br^- , omówione właściwości chlorowodoru mają również zastosowanie do bromowodoru [9]. Chlorowodor jest gazem powodującym silne efekty drażniące przy niewielkich stężeniach (ok. 100 ppm). Przy 30-minutowej ekspozycji stężenie powodujące śmierć w przypadku myszy wynosi 2600 ppm, szczurów – 4700 ppm [2].

Fluorowodor HF jest bardzo drażniącym i żującym gazem. Reakcja z wodą zachodzi szybko, prowadzi do wytworzenia ciepła oraz kwasu fluorowodorowego [10]. Jest on słabym kwasem, ale w tym przypadku jego toksyczność nie pochodzi z kwasowości. Fluorowodor jest silnie drażniący dla skóry, oczu i nosa. Wysokie stężenie tego gazu może powodować przedostanie się go do płuc. W rezultacie wywołuje obrzęk i krwawienie. ISO wyznaczyło graniczną dawkę na poziomie 500 ppm [11].

Tlenek azotu NO i dwutlenek azotu NO_2 to niepalne gazy występujące w środowisku pożaru. W wysokich stężeniach tlenek azotu NO jest szybko utleniany do dwutlenku azotu NO_2 . Jednak w sytuacji pożarowej większość NO pozostaje bez zmian.

are distributed in extracellular fluid to tissues and organs. Hydrogen cyanide's action is based on two mechanisms. The first is binding with iron ions in the mitochondrial cytochrome oxidase, preventing the transport of electrons in the cytochrome system and inhibiting the cellular intake of oxygen. The second is a considerable reduction in respiratory rate, anoxia, spasms, respiratory arrest and death. In contrast to well-defined effects of asphyxiant gases, the effects of irritant gases are more complex. Overpowering irritants and smoke may cause problems with escaping from a fire. Most irritating combustion products cause signs and symptoms of sensory irritation and irritation of the upper respiratory tract and lungs. However, autopsy results show that these symptoms are similar to the effects of high temperatures. Sensory and upper respiratory tract irritation stimulates triple receptors of the vagus nerve in the eyes, nose, throat and the upper respiratory tract, causing discomfort and severe pain [1, 9]. In response to acidic and organic irritant gases, the central nervous system in mice reduces respiratory rate to 10% of the normal value, while in primates and humans the stimulus causes hyperventilation, increasing the intake of other toxic substances [1]. The irritating effects include lacrimation, blinking, pain in the nose, throat and chest, cough, excessive production of mucus, laryngeal and bronchial spasms and respiratory arrest. In sufficiently high concentrations, or in combination with micron-sized particles (such as soot), most irritant substances can get deeper into the lungs, causing irritation, which may lead to respiratory failure and death, usually after several hours to several days post exposure due to pulmonary oedema [2].

Hydrogen chloride (HCl) and hydrogen bromide (HBr) are strong acids which completely dissociate in water. Both can be present in fire effluents, released, e.g., from polyvinyl chloride or brominated fire retardants. Since damage caused by the acidity of H^+ is independent of Cl^- and Br^- anions, the information on hydrogen chloride also applies to hydrogen bromide [9]. Hydrogen chloride is a gas with strong irritant effect even in low concentrations (approx. 100 ppm). With a 30-minute exposure, the deadly concentration for mice is 2600 ppm and for rats 4700 ppm [2].

Hydrogen fluoride (HF) is a highly irritant and caustic gas. It reacts with water fast, leading to the generation of heat and hydrofluoric acid [10]. It is a weak acid, but in this case its toxicity is not due to acidity. Hydrogen fluoride has highly irritant effects on the skin, eyes and nose. In high concentrations, the gas can reach the lungs, causing oedema and bleeding. The threshold value set by ISO is 500 ppm [11].

Nitric oxide (NO) and nitric dioxide (NO_2) are inflammable gases found in fire environments. In high concentrations, nitric oxide is quickly oxidised, forming nitric dioxide (NO_2). However, in the case of fire, most of NO remains unchanged. Nitric dioxide reacts with water, and the reaction generates a mixture of nitric acid and nitrous acid [12]. High concentrations of these gases can lead to pneumothorax and death. In low concentrations, nitric oxide is used to treat respiratory disorders. In blood it binds with oxyhaemoglobin 5 to 20 times faster than oxygen [12]. As a result, methaemoglobin is formed. The compounds dissolve slowly, resulting in hypoxia. If oxygen levels in blood

Dwutlenek azotu szybko reaguje z wodą, a w wyniku reakcji tworzy mieszaninę kwasu azotowego i azotawego [12]. Wysokie stężenie tych gazów może powodować odmę oraz śmierć. Niskie stężenie tlenku azotu wykorzystywane jest do leczenia zaburzeń oddechowych. We krwi łączy się od 5 do 20 razy szybciej niż tlen z oksyhemoglobina [12]. W efekcie powstaje methemoglobina. Otrzymane związki rozkładają się powoli, dając efekty niedotlenienia. Jeżeli stężenie tlenu we krwi jest niskie, tlenek azotu może łączyć się z hemoglobina, tworząc hemoglobinę azotową. Nadmierny poziom tlenku azotu we krwi powoduje obniżenie ciśnienia. Dym tytoniowy może zawierać do 1000 ppm, jednak nie powoduje to śmierci [1].

W środowisku pożaru odkryto dużą liczbę znanych drażniących chemikaliów [13]. Uwalniane w pożarze, powstające podczas pirolizy i utleniania materiałów, produkty spalania z różnych materiałów są często bardzo do siebie podobne. Dla wielu tworzyw organicznych, a szczególnie dla prostych polimerów węglowodorowych (takich jak polipropylen lub polietylen), główne produkty pirolizy składające się z różnych fragmentów węglowodorowych są nieszkodliwe. Kiedy polipropylen poddany jest pirolizie, powstają produkty takie jak etylen, etan, propen, cyklopropan, metanal, butan, aldehyd octowy, toluen, styren. Ich atmosfera nie ma wpływu na ssaki naczelne. Gdy produkty zostaną utlenione podczas bezpłomieniowego rozkładu w powietrzu, niektóre z nich są przekształcane w bardzo drażniące produkty. Taka atmosfera okazała się silnie drażniąca dla myszy i ssaków naczelnych [1]. Poza działaniem toksycznych gazów pożarowych przyczyną utraty podstawowych funkcji życiowych w organizmie ludzkim podczas pożaru może być również dym. Nie tylko ogranicza on widoczność, ale także zawiera rozdrobnioną materię, która jest na tyle mała, by stwarzać zagrożenie dla układu oddechowego. Rozkład wielkości cząstek zależy od materiału, temperatury i stanu pożaru. Typowy rozmiar kulistych kropelek dla spalania tłącego wynosi 1 µm, podczas gdy nieregularne cząstki sadzy są znacznie większe. Ich badanie jest jednak bardziej wymagające i w znacznym stopniu zależne od techniki pomiaru i pozycji próbkowania [6]. Głównym działaniem cząstek stałych w organizmie jest uwalnianie płynu i powodowanie zapalenia oskrzeli, utrudniających wymianę gazową w pęcherzykach płucnych. Zapalenie oskrzeli może skutkować ich całkowitym zablokowaniem [1]. W budynkach mieszkalnych zapaleniu ulegają przede wszystkim elementy konstrukcyjne i wyposażenie – wykonane zazwyczaj z tworzyw sztucznych [8]. Wiadomo, że najbardziej niebezpiecznymi produktami rozkładu spalania termicznego oraz spalania materiałów są tlenek węgla, cyjanowodor, chlorowodor, tlenki azotu, tlenki siarki oraz WWA. Poniżej przedstawiono krótką charakterystykę wybranych związków powstających w środowisku pożaru [9–11]:

- izocyjanianów;
- lotnych związków organicznych: styren, benzen;
- wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA): pirenu i dibenzopirenu;
- nieorganicznych produktów spalania: CO₂, CO, HBr, HCl, HCN, NO_x i Sb.

are low, nitric oxide can bind with haemoglobin, forming nitric haemoglobin. Excessive nitric oxide levels in blood reduce blood pressure. Tobacco smoke can contain up to 1000 ppm, but this does not lead to death [1].

Many known irritant chemicals were identified in the fire environment [13]. Products of combustion of various materials released in a fire, formed through pyrolysis and oxidation, are often very similar to one another. For many organic materials, especially simple hydrocarbon polymers (such as polypropylene and polyethylene), the main products of pyrolysis consisting of various hydrocarbon fragments are harmless. When polypropylene is subjected to pyrolysis, its products include ethylene, ethane, propene, cyclopropane, formaldehyde, butane, acetaldehyde, toluene and styrene, and their atmosphere does not impact primates. When these products are oxidised during flameless decomposition in the air, some of them form very irritant products. Such atmosphere turned out to be highly irritant to mice and primates [1]. In addition to toxic fire effluents, the loss of basic vital functions in humans during a fire can also be caused by smoke. It not only limits visibility, but also contains fragmented matter, which is small enough to pose a threat to the respiratory system. The particle size distribution depends on the material, temperature and stage of the fire. The typical size of spherical droplets for smoldering is 1 µm, while irregular soot particles are considerably larger, harder to identify, and heavily dependent on the measurement and sampling methods [6]. The main effect of solid particles on the human body is releasing fluid and causing bronchitis, which hinders gas exchange in alveoli. Bronchitis may cause the complete blocking of alveoli [1]. In residential buildings, the main elements subject to combustion are structural elements and furnishing, usually made of plastics [8]. It is known that the most dangerous products of thermal decomposition and combustion are carbon oxide, hydrogen cyanide, hydrogen chloride, nitric oxides, sulphur monoxide and PAHs. Below is a brief characterisation of selected compounds found in the fire environment [9–11]:

- isocyanates;
- volatile organic compounds: styrene, benzene;
- polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): pyrene and dibenzopyrene;
- inorganic combustion products: CO₂, CO, HBr, HCl, HCN, NO_x and Sb.

Izocyjaniany

Reaktywność izocyjanianów czyni je szkodliwymi dla żywych tkanek. Są trujące i wywołują alergiczne zapalenie płuczek, astmę zawodową. Obie te choroby powstają w wyniku inhalacji oraz kontaktu skórniego, dlatego powinno się unikać zarówno wdychania par izocyjanianów, jak i ich bezpośredniego kontaktu ze skórą.

Lotne związki organiczne

Lotne związki organiczne występują jako uboczne produkty w wielu procesach przemysłowych i stanowią zasadnicze źródło zanieczyszczeń środowiska. Szczególne znaczenie ma wtórne zanieczyszczenie substancjami powstającymi w wyniku zachodzących w środowisku reakcji chemicznych z ich udziałem. W taki sposób powstaje np. ozon troposferyczny.

Styren

Dostaje się do organizmu człowieka przez układ oddechowy, a także (w niewielkim stopniu) przez skórę. Styren działa przede wszystkim depresyjnie na ośrodkowy układ nerwowy oraz zaburza przewodnictwo nerwowe. Różne formy tlenku styrenu oddziałują także na poszczególne elementy układu nerwowego. W organizmie człowieka styren jest metabolizowany w wątrobie, głównie szlakiem prowadzącym przez tlenek styrenu, glikol styrenowy, kwas migdałowy lub kwas benzoesowy do kwasów hipurowego i fenylogliksylowego, które są wydalone z moczem. Może prowadzić do marskości wątroby.

Benzen

W większych ilościach jest toksyczny. Powoduje zarówno ostre, jak i przewlekłe zatrucia. Dochodzi do nich zazwyczaj poprzez wdychanie par, jednak możliwa jest również absorpcja przez skórę i wchłanianie wraz z pokarmem. W ciągu godziny inhalacji dawka ok. 6,4 g/m³ powoduje ostre zatrucie, zaś dawka dziesięciokrotnie większa – natychmiastowy zgon [1].

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)

Udowodniono własności rakotwórcze wielu z nich. Powstają podczas niecałkowitego spalania wszystkich węglowodorów, z wyjątkiem metanu. Wydzielają się także w trakcie spalania drewna iglastego, palenia tytoniu, produkcji asfaltu, pracy pieców koksowniczych. Są obecne w spalinach samochodowych i smołe pogazowej. WWA zmieszane z cząsteczkami pary wodnej stanowią element smogu. Wykazują silne właściwości genotoksyczne, mutagenne oraz kancerogenne. Szesnaście rodzajów WWA jest szczególnie niebezpiecznych, a na pierwszym miejscu wymienia się benzo(a)piren. Związki te wykazują stosunkowo niską toksyczność ostrą, ale bardzo wyraźną toksyczność przewlekłą. Organizm ludzki z żywnością przyjmuje 3–4 mg WWA, a ich dopuszczalne stężenie w wodzie wynosi 0,2 mg/dm³. Są to związki bardzo niebezpieczne, ponieważ w różnych tkankach wywołują zmiany nowotworowe.

Piren

W temperaturze pokojowej jest bezbarwną substancją krystaliczną. Powstaje w warunkach niecałkowitego spalania wybranych materiałów stałych. Jest słabo toksyczny, ale bardzo rakotwórczy. Atakuje nerki i wątrobę.

Isocyanates

The reactivity of isocyanates makes them harmful to living tissues. They are toxic and cause hypersensitivity pneumonitis and occupational asthma. Both these diseases are caused by inhalation and skin contact, which is why inhalation of isocyanate vapours and their direct contact with the skin should be avoided.

Volatile organic compounds

Volatile organic compounds occur as by-products in many industrial processes and are a major source of environmental pollution. What is of special importance is secondary contamination with substances formed as a result of chemical reactions occurring in the environment involving these compounds. This is how, for instance, tropospheric ozone is formed.

Styrene

It finds its way inside the body through the respiratory system and, to a limited extent, through the skin. Styrene has a depressive effect on the central nervous system and impairs neural transmission. Various forms of styrene oxide also have an impact on specific elements of the nervous system. In the human body, styrene is metabolised in the liver, mainly through the pathway of styrene oxide, styrene glycol, mandelic acid or benzoic acid to hippuric and phenylglyoxylic acid, which are excreted with urine. It can lead to cirrhosis.

Benzene

It is toxic in larger quantities, causing acute and chronic intoxication, usually occurring due to inhaling vapours, but also possible through absorption through the skin or with food. A dose of approx. 6.4 g/m³ inhaled for an hour causes acute intoxication, while a dose ten times higher leads to immediate death [1].

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

Many of these substances have been proven to display carcinogenic properties. They are formed during incomplete combustion of all hydrocarbons but methane. PAHs are also released during the combustion of coniferous wood, tobacco smoking, asphalt production and the operation of coking furnaces. They are present in car fumes and coal tar. PAHs mixed with water vapour are present in smog. They show strong genotoxic, mutagenic and carcinogenic properties. Sixteen types of PAHs are particularly hazardous, with benzo(a)pyrene being considered the most harmful. These compounds usually demonstrate low acute toxicity but pronounced chronic toxicity. Humans consume 3–4 mg of PAHs with food, and the acceptable concentration of PAHs in water is 0.2 mg/dm³. These are highly hazardous compounds, as they cause neoplastic lesions in various tissues.

Pyrene

At room temperature it is a colourless crystalline substance. It is formed during incomplete combustion of selected solids. Pyrene is characterised by low toxicity, but is highly carcinogenic. It attacks kidneys and liver.

Benzo(a)piren

To jeden z najbardziej toksycznych składników smogu, tj. mgły zawierającej zanieczyszczenia powietrza. Benzo(a)piren gromadzi się w organizmie i może powodować nowotwory, upośledzać płodność i działać szkodliwie na dziecko w łonie matki. Z powodu obecności w dymie benzopireny dostają się do żywności podczas wędzenia potraw.

Powyższe doprowadziło do opracowania nowych metod lub dostosowania istniejących do próbkowania oraz analizy gazów i par zawartych w spalinach. W ostatnich latach powstało kilka metod analizy spalin o wysokim znaczeniu, w związku z czym zostały one poddane normalizacji dotyczącej wybranych gazów i par. Często zdarza się, że aby przeanalizować zagrożenie spowodowane ogniem i w tym celu ustalić wszystkie związki chemiczne, wymagane jest wykorzystanie kilku metod [6].

Metody wyznaczania toksycznych produktów spalania

Problem toksyczności materiałów oraz wyrobów budowlanych stosowanych w architekturze wnętrz oraz w instalacjach budowlanych stale wzrasta [8]. Istnieją dwie teorie potwierdzające występowanie tego zjawiska. Jedna z nich mówi, że bardzo małe stężenia dymu powstającego podczas rozkładu termicznego tworzyw sztucznych posiadających środki ogniochronne mogą powodować efekty toksyczne. Stwierdzono, że toksyczność konkretnych materiałów można określić na podstawie ich niewielkiej części, wyznaczając stężenie LC50. Teoria ta wymaga znajomości sposobów prowadzenia badań laboratoryjnych na wyznaczanie toksyczności produktów spalania i rozkładu termicznego [1]. Inna teoria mówi, że skład jakościowo-ilościowy produktów spalania jest bardzo podobny we wszystkich powszechnie występujących pożarach. Natomiast porównując aktualnie występujące pożary z tymi z lat wcześniejszych, zauważyć można zwiększenie szybkości rozwoju pożarów i – co za tym idzie – zwiększenie szybkości powstawania toksycznych produktów. Uznano, że sposobem, dzięki któremu można obniżyć toksyczność środowiska pożarowego, jest ograniczenie czynników mających wpływ na rozwój oraz powstanie pożaru [6]. Należy zatem nie dopuścić do rozprzestrzeniania się ognia i zapłonu fazy lotnej oraz obniżyć szybkość, z którą wydziela się dym. W tym przypadku analizowanie składu jakościowo-ilościowego dymu nie jest aż tak bardzo istotne. Na podstawie wyznaczenia głównych produktów oraz zbadania zależności między czasem a profilem stężeń toksyn określić można poziom toksyczności w środowisku pożarowym. Zatem metody laboratoryjne mają za zadanie potwierdzić toksyczność produktów rozkładu termicznego wybranego materiału oraz określić ich wpływ na człowieka lub środowisko [13–15].

Metodyka badawcza wg ISO/TS 19700

Norma ISO/TS 19700 opisuje użycie stacjonarnego pieca rurowego jako metody generowania produktów spalania, a następnie identyfikacji oraz pomiaru poszczególnych substancji toksycznych. Próbkę, którą umieszczono w piecu rurowym,

Benzo(a)pyrene

It is one of the most toxic components of smog, i.e. mist containing air pollutants. Benzo(a)pyrene accumulates in the body and may cause neoplasms, impair fertility, or have a harmful effect on unborn babies. Due to their presence in smoke, benzopyrenes are transmitted to food during the smoking process.

The above has led to the development of new methods, or adaptation of the existing ones, for the sampling and analysis of gases and vapours present in fumes. In recent years, several highly significant fumes analysis methods have been developed and standardised for selected gases and vapours. It often happens that, in order to determine all chemical compounds, several methods are used for the analysis of fire-related hazards [6].

Methods for determining toxic combustion products

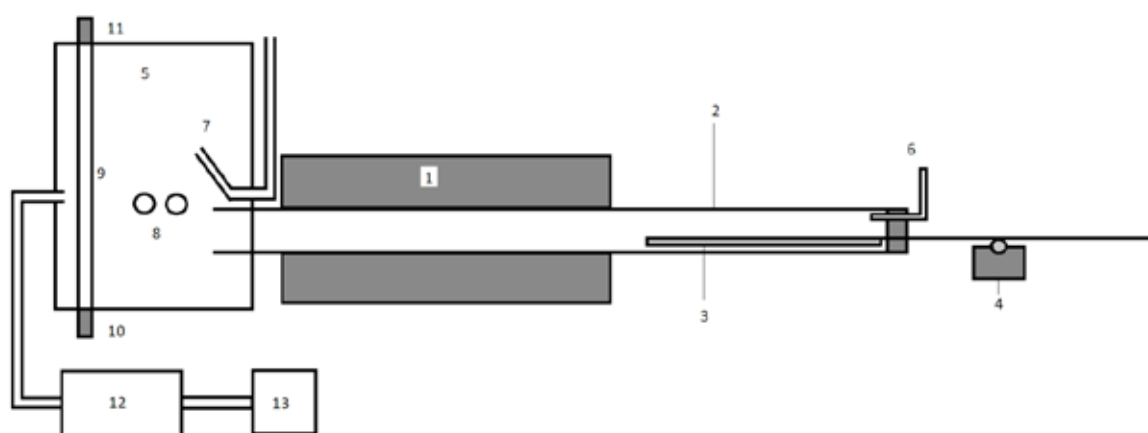
The problem of toxicity of construction materials and products used in interior design and building installations is constantly becoming more serious [8]. There are two theories supporting the existence of this phenomenon. One suggests that very low concentrations of smoke produced during the thermal decomposition of plastics with fire retardants can have toxic effects. It has been found that the toxicity of specific materials can be determined on the basis of their small portion by calculating LC50 concentration. The theory requires familiarity with the ways of conducting laboratory tests for determining the toxicity of combustion and thermal distribution products [1]. Another theory is that the qualitative and quantitative composition of combustion products is very similar in all fires in general. However, comparing the recent fires with the earlier ones, it can be noticed that contemporary fires are developing faster and, consequently, the speed of toxic products formation is now higher. A conclusion was made that in order to lower the toxicity of the fire environment it is necessary limit the factors impacting fire breakout and development [6]. Therefore, the spread of fire and the combustion of the volatile phase should be prevented, and the speed at which smoke is produced should be reduced. In this case, analysing the qualitative and quantitative composition of smoke is not essential. The level of toxicity in a fire environment can be determined by identifying the main products and analysing the correlation between time and the toxin concentration profile. Thus, the objective of laboratory methods is to confirm the toxicity of thermal decomposition products of selected materials and to determine their impact on humans or the environment [13–15].

Research methodology according to ISO/TS 19700

Standard ISO/TS 19700 describes the use of a steady-state pipe furnace as a method for generating combustion products, and the identification and measurement of specific toxic substances. The sample placed in a pipe furnace can be combusted

można spalać w różnych temperaturach, a także regulować zmianę przepływu strumienia powietrza przez piec. Dzięki temu metoda pozwala na spalanie próbek w różnych kontrolowanych warunkach, tak jak w modelu pożaru [16]. Stężenia toksycznych gazów i cząstek zależą przede wszystkim od wskaźnika utraty masy paliwa, wydajności każdej substancji toksycznej oraz dopływu powietrza i rozprzestrzeniania się gazów w zamkniętym pomieszczeniu. Pod uwagę mogą być brane także inne czynniki, takie jak straty z osadzania się na ścianach obudowy [17]. W przypadku określania potrzeb bezpieczeństwa pożarowego w konkretnym obiekcie budowlanym przeanalizowania wymagają również toksyczne produkty spalania paliwa. Ponieważ warunki spalania zmieniają się w czasie i różnią się w zależności od pożaru, konieczne jest również mierzenie wytwarzania się toksycznych produktów w zakresie określonych warunków spalania. Aby przeprowadzić ocenę toksyczności zagrożenia w czasie pożaru, dane dotyczące wytwarzanych toksycznych produktów w różnych warunkach pożarowych obejmują jedną kategorię wymaganych danych wejściowych [15]. Dla dowolnego materiału, intensywność powstawania produktów spalania w pożarach zależy od warunków rozkładu termicznego. Najważniejszymi zmiennymi są: rodzaj spalania (czy jest to proces płomieniowy/ bezpłomieniowy) oraz stosunek paliwa do utleniacza. Na podstawie tych zmiennych można klasyfikować pożary na wiele różnych typów [15]. Powyższa metoda została opracowana w celu pomiaru powstałych toksycznych produktów spalania z materiałów w określonych warunkach rozkładu termicznego. Ustala się je, biorąc pod uwagę pod względem stosunku paliwa, powietrza, temperatury w płomieniu, jak również zachowania płomienia w trakcie spalania [16]. Aparatura badawcza składa się w tym przypadku z pieca rurowego i rury kwarcowej pieca, która przechodzi przez piec rurowy do komory mieszania i pomiaru. Mechanizm napędowy popycha tackę z próbką. Przygotowana próbka spala się zatem w ustalonej temperaturze w piecu. Powietrze przemieszcza się w stały i ustalony sposób przez rurę kwarcową do komory mieszania i pomiaru. Kontrolowane zasilanie wtórne powietrza kierowane jest bezpośrednio do komory mieszania oraz pomiaru. Stamtąd, w zamierzonym wcześniej czasie, pobierane są próbki dla kluczowych gazów: O_2 , CO, CO_2 . Ciągły przepływ (w przybliżeniu 2 l/min dla wymienionych wyżej gazów) odbywa się przez odpowiedni suszący element oraz system filtracji dymu do odpowiedniego analizatora [17]. Jedną z metod określania gazów kwaśnych, takich jak HCN, HCL, HBr, HF, NO_x i SO_2 , jest ich pochłanianie podczas przepływu gazu przez dwa barbotery umieszczone szeregowo, z których każdy zawiera odpowiednią objętość danego absorbentu. Drugą metodą jest analiza fazy gazowej w podczerwieni z transformatą Fouriera [17]. Lotne związki organiczne wykazują właściwości drażniące. Do oszacowania całkowitej zawartości węglowodorów stosuje się odpowiedni analizator. Frakcja węgla z wycieku w postaci węgla organicznego powinna być określona przez utlenianie próbki wycieku z komory mieszania i pomiaru stężenia CO_2 . Do próbek testowych o znanym składzie lotne związki organiczne należy szacować w przybliżeniu na podstawie zawartości CO, CO_2 i cząstek sadzy w komorze mieszania, a także na podstawie pomiaru utraty masy próbki [17].

at various temperatures, and the air flow through the furnace can be regulated. As a result, the method enables the combustion of samples in various controlled conditions, as in a model of fire [16]. The concentrations of toxic gases and particles depend primarily on the fuel mass loss rate, the efficiency of each toxic substance, as well as air flow and the spreading of gases within building interiors. Other factors to be taken into consideration include losses from deposition on the enclosure walls [17]. When determining fire safety needs in the analysed building or structure, it is also important to consider the toxic products of fuel combustion. As combustion conditions change during a fire and vary depending on fire type, it is also necessary to measure the levels of toxic products within specific combustion conditions. For the assessment of toxicity during a fire, the data on the generated toxic products in varying specific fire conditions cover one category of required input data [15]. For any specific material, the intensity of combustion product generation in fires depends on the conditions of thermal decomposition. The major variables are types of combustion, whether the combustion is a flame/flameless process, and the fuel to oxidant ratio. On the basis of these variables, fires can be divided into a number of types [15]. The above-mentioned method was developed in order to measure the toxic combustion products generated from materials within specific thermal decomposition conditions. These are determined with respect to the levels of fuel and air, flame temperature and the flame's behaviour during combustion [16]. The research equipment in this case consists of a pipe furnace and a quartz tube passing through the pipe furnace to the mixing and measurement chamber. The driving mechanism pushes the sample plate. The prepared sample burns in the furnace at the set temperature. The steady stationary air flow passes through the quartz tube to the mixing and measurement chamber. The controlled secondary air is supplied directly to the mixing and measurement chamber. At a pre-determined time, samples for the major gases, O_2 , CO and CO_2 , are collected from the chamber. The continuous flow (estimated at 2 l/min for the above-mentioned gases) passes through the drying component and the smoke filtration system, reaching the appropriate analyser [17]. One of the methods to determine the levels of acidic gases, such as HCN, HCL, HBr, HF, NO_x and SO_2 , is regulated flow through two gas bubblers arranged in series, each with a suitable volume of a given absorbent. The second method is the analysis of the gaseous phase in infrared with Fourier's transform [17]. Volatile organic compounds have irritant properties. In order to estimate the total hydrocarbon content, a suitable hydrocarbon analyser is used. The carbon fraction from the discharge in the form of organic coal should be specified on the basis of the oxidation of the effluent sample from the mixing chamber, and CO_2 concentration measurement. For the test samples with a known composition, volatile organic compounds should be estimated on the basis of the values of CO, CO_2 and soot particles in the mixing chamber and of the sample mass loss measurement [17].



Rycina 1. Schemat stanowiska badawczego zgodnie z ISO/TR 19700 [16]

Figure 1. Experimental set-up based on ISO/TR 19700 [16]

1 – piec rurowy / tube furnace, 2 – rura kwarcowa / quartz tube, 3 – tacka z próbką / sample plate, 4 – mechanizm popychający tackę / mechanism controlling sample movement, 5 – komora mieszania i pomiaru / mixing and measurement chamber, 6 – pierwsze wejście powietrza / first airflow inlet, 7 – drugie wejście powietrza / second airflow inlet, 8 – porty pobierania próbek / ports for sample collection, 9 – filtr cząstek dymu / smoke particle filter, 10 – źródło światła / light emission source, 11 – fotodetektor / photo-detector, 12 – barboter gazu / gas bubbler, 13 – pompa z przepływomierzem / pump with an airflow meter.

Metoda badawcza przy wykorzystaniu spektroskopii FTIR polega na jednoczesnym oświetleniu próbki wiązką promieniowania z całego badanego zakresu IR [17]. Po przejściu tej wiązki przez próbkę doprowadza się do interferencji z wiązką z tego samego źródła, która nie przeszła przez próbkę. Widmo otrzymuje się, stosując transformację Fouriera rejestrowanego widma interferencyjnego. Wymaga to użycia odpowiedniej aparatury badawczej wraz z oprogramowaniem, które wykonuje operację matematyczną i dostarcza informacji o wibracjach w postaci interferogramu [18]. Należy pamiętać, że interferogram zawiera tę samą informację, co widmo, bo związany jest z nim poprzez operację matematyczną zwaną transformacją Fouriera. Interferogram powstaje z interferencji dwóch wiązek, które dzięki zmieniającej się w czasie różnicy dróg optycznych docierają do detektora przesunięte w fazie. Tak uzyskana zależność natężenia promieniowania od różnicy dróg optycznych wiązek promieniowania zostaje dzięki analizie Fouriera wykonanej przez oprogramowanie komputera przekształcona w widmo, wykres zależności absorpcji od długości fali. Opisane tu wiązki są generowane przez szerokopasmowe polichromatyczne źródło światła z zakresu IR (np. lampa Nernsta) w interferometrze Michelsona [19]. Dwuwiązkowy interferometr został zaprojektowany przez Michelsona w 1891 roku [19]. Światło ze źródła S pada na zwierciadło półprzepuszczalne, które odbija połowę promieniowania, a połowę przepuszcza. Promieniowanie odbite po przejściu drogi optycznej L pada na nieruchome zwierciadło, ulega odbiciu od zwierciadła i wraca z powrotem. Promieniowanie przechodzące podobnie jak promieniowanie odbite pokonuje odległość 2L po odbiciu od zwierciadła drugiego, które jednak – w przeciwieństwie do zwierciadła pierwszego – ma możliwość precyzyjnie kontrolowanego poruszania się o dodatkową odległość $x/2$. Tak więc promieniowanie przechodzące pokonuje całkowitą drogę optyczną $2L + x$. Różnica

The test method with the use of FTIR spectroscopy consists of simultaneously subjecting the sample to radiation from the whole analysed IR spectrum [17]. After the beam passes through the sample, interference is reached with the beam from the same source which did not go through the sample. The spectrum is achieved through Fourier's transformation of the recorded interference spectrum. This requires appropriate equipment and software which carries out mathematical computations and provides information on vibration in the form of an interferogram [18]. It should be borne in mind that the interferogram contains the same information as the spectrum, as it is related to it through a mathematical operation called Fourier's transformation. The interferogram is based on interference between two beams which, due to the difference in optical distance changing in time, reach the detector with a phase shift. The obtained dependence of the radiation intensity on the difference in optical distance of radiation beams, with Fourier's analysis performed by computer software, is transformed into a spectrum, a diagram showing correlation between absorption and wave length. The described beams are generated by wideband polychrome IR light emission source (e.g. the Nernst lamp) in the Michelson interferometer [19]. A two-beam interferometer was designed by Michelson in 1891 [19]. Light from source S falls on a beam splitter, which reflects half of the radiation and lets through the other half. Radiation reflected after passing optical path L falls on an immobile beam splitter, is reflected, and goes back. The passing radiation, similarly to the reflected radiation, travels distance 2L after being reflected from the second beam splitter, but in contrast to the first beam splitter, it can travel additional distance $x/2$ while being under precise control. Thus, the passing radiation travels a total optical path of $2L+x$. The difference in optical distance at the moment when both beams cross paths on the beam splitter is x , generating a phase difference

dróg optycznych w momencie ponownego spotkania się obu wiązek na zwierciadle półprzepuszczalnym wynosi x , generując różnicę faz i prowadząc do interferencji. Wiązka modulowana poprzez ruch zwierciadła opuszcza interferometr, przechodzi przez próbkę i ostatecznie zostaje skupiona na detektorze. Interferogram rejestrowany przez detektor jest intensywnością promieniowania $I(x)$ mierzonego w funkcji przemieszczenia x poruszającego się zwierciadła M2 od odległości L . Interferencja fal o różnych częstotliwościach jest inna, bowiem dla tej samej drogi x różnica faz jest inna, czyli w $I(x)$ dla różnych długości fal zawarta jest informacja o widmie [19]. System wykorzystujący metodę FTIR, służący do uzyskiwania stężeń gazów i par znajdujących się w spalinach, składa się z systemu próbkowania, komórki optycznej, źródła światła, interferometru, kolektora optycznego oraz oprogramowania służącego do wyciągania stężeń związków z uzyskanego sygnału. System próbkowania jest zaprojektowany tak, aby dostarczał strumień gazu do fotokomórki. Strumień ten stanowi żywą reprezentację spalin w znanym obszarze, z którego próbka jest pobierana. Nieścisłości w próbce spalin należy zrozumieć i określić ilościowo [17]. Fourierowska spektroskopia w podczerwieni (FTIR) to ogólna technika pomiarowa stosowana do uzyskania widma absorpcyjnego w podczerwieni, widma emisyjnego, fotoprzewodnictwa lub też efektu Ramana dla ciał stałych, cieczy i gazów [18]. W odróżnieniu od klasycznej spektroskopii dyspersyjnej, w której dane są zbierane osobno z każdej kolejnej fali, spektrometry FTIR gromadzą jednocześnie dane z całego zakresu widma w postaci interferogramu. W technice tej widmo nie jest bezpośrednio obserwowane, lecz otrzymuje się je poprzez transformatę Fouriera sygnału mierzonego w funkcji czasu. Transformata ta jest matematycznym algorytmem pozwalającym przekonwertować dane źródłowe w praktyczne widmo analogiczne do tego otrzymanego metodą dyspersyjną [18].

Metodyka badawcza wg PN-EN 45545-2

Norma PN-EN 45545-2 została opracowana dla pojazdów szynowych. Napisano ją na podstawie istniejących dokumentów przeciwpożarowych z Międzynarodowego Związku Kolei (UIC) i kilku krajów europejskich [20]. W normie opisano dwie metody, które należy stosować do określania produktów rozkładu termicznego powstałych w wyniku spalania. Na podstawie pomiaru toksyczności wyznacza się Konwencjonalny Indeks Toksyczności (CIT) [20]. Metoda pierwsza zwana „komorą dymu” opiera się na ekspozycji określonego pola powierzchni dla próbki i pomiarze gęstości dymu powstającego ze spalanych materiałów. Nieprzezroczystość dymu określa się poprzez pomiar tłumienia białej wiązki światła przez lotne produkty spalania. Zaciemnienie wytworzone przez dym pożarowy powoduje zmianę wiązki natężenia światła, która dociera do detektora fotometrycznego w stosunku do warunków bez obecności dymu. Metoda składa się z procedury pobierania próbek i analizy gazów obecnych w lotnych produktach spalania w sposób nieciągły za pomocą spektroskopii w technice podczerwieni z FTIR [17]. W tej metodyce zastosowanie FTIR służy do identyfikacji oraz kwantyfikacji związków składających się z dwuatomowych oraz wieloatomowych cząsteczek z wiązaniami heterojądrowymi [18]. Na początku badania należy skierować wiązkę światła przez

and leading to interference. A beam modulated with the motion of the beam splitter leaves the interferometer, passes through the sample and is finally focussed on the detector. The interferogram recorded by the detector is radiation intensity $I(x)$ measured as shift x of moving beam splitter M2 from distance L . Wave interference changes for different densities, as for the same distance x phase difference varies, i.e. $I(x)$ for different wave lengths contains information on the spectrum [19]. The system using the FTIR method, used to obtain concentrations of gases and vapours in fumes, consists of a sampling system, an optical cell, a light source, an interferometer, an optical collector and software for computing compound concentrations from the obtained signal. The sampling system is designed in such a way as to supply a gas stream to the photocell. The stream directly represents fumes in the area where the sample is collected. Inaccuracies in the sample should be interpreted and quantified [17]. Fourier's infrared spectroscopy (FTIR) is a general measurement method used to obtain an infrared absorption spectrum, an emission spectrum, photoconductivity or the Raman effect for solids, liquids and gases [18]. In contrast to the traditional dispersion spectroscopy, where data is collected separately from each wave, FTIR spectrometers simultaneously collect data from the whole spectrum range to produce an interferogram. In this method, the spectrum is not directly observed but obtained through Fourier's transform of the signal measured over time. The transform is a mathematical algorithm enabling the conversion of source data into a practical spectrum similar to the one obtained with the dispersion method [18].

Research methodology according to PN-EN 45545-2

Standard PN-EN 45545-2 has been developed for railway vehicles based on the existing fire protection documents of the International Union of Railways (UIC) and several European countries [20]. That document describes two methods to be used for determining thermal decomposition products formed as a result of combustion. Toxicity measurement constitutes the basis for the Conventional Toxicity Index (CIT) [20]. The first method, referred to as the "smoke chamber", consists in exposing a specific area for the sample and measuring the thickness of the smoke and measurement of the density of smoke generated from the combusted materials. Smoke non-transparency is determined by measuring the suppression of a white light beam by volatile combustion products. The obscurity created by the smoke is determined by the part of the light that reaches the photometric detector in the presence of smoke compared to light permeability without smoke. The method involves the procedure of sample collection and analysis of gases present in volatile combustion products in a non-continuous way with FTIR infrared spectroscopy [17]. In this methodology, FTIR is used to identify and quantify compounds consisting of heteronuclear diatomic and multiatomic molecules [18]. At the beginning, the light beam should pass through the analysis cell and collect the

komórkę analizy i zebrać interferogram we wcześniej ustalonym czasie odpowiadającym 240 lub 480 s, licząc od początku testu. Kolejnym krokiem jest przekształcenie go w widma absorpcji. Następnie należy obliczyć stężenia gazów obecnych w próbce poprzez ocenę wchłoniętej ilości w porównaniu z widmami uzyskanymi dla referencyjnych mieszanin gazów o znanych stężeniach. Analiza widma zebranego podczas badania określa stężenie gazów [18].

interferogram in a predetermined time of 240 or 480 s, counting from the start of the test. The next stage involves converting it into absorption spectra. After that, concentrations of gases present in the sample should be calculated by comparing the absorbed amounts with the spectra obtained for reference gas mixtures with known concentrations. The analysis of the spectrum data collected during the test enables the determination of the concentrations of gases [18].

Tabela 1. Referencyjne stężenia składników gazu [20]

Table 1. Reference concentration of gas components [20]

Składniki gazu / Gas components	Referencyjne stężenia / Reference concentrations [mg/m ³]
CO ₂	72000
CO	1380
HBr	99
HCL	75
HCN	55
HF	25
NOX	38
SO ₂	262

Badanie toksyczności przy użyciu pierwszej metody poprzedzone jest odpowiednim przygotowaniem stanowiska. Na początku należy oczyścić wewnętrzne ścianki komory dymowej, a także podpory i uchwyt na próbkę. Należy również oczyścić sondę do pobierania próbek poprzez wprowadzenie strumienia powietrza, a następnie włożyć czysty filtr do wkładu filtracyjnego przed rozpoczęciem każdego testu. Kolejnym etapem jest ustawienie sprzętu. Niezbędne jest tu sprawdzenie stabilizacji temperatury, a także włączenie pompy do pobierania próbek FTIR [18]. Jeżeli to konieczne, należy wyregulować przepływ próbkowania [20]. Test powinien być wykonywany z następującą sekwencją operacji:

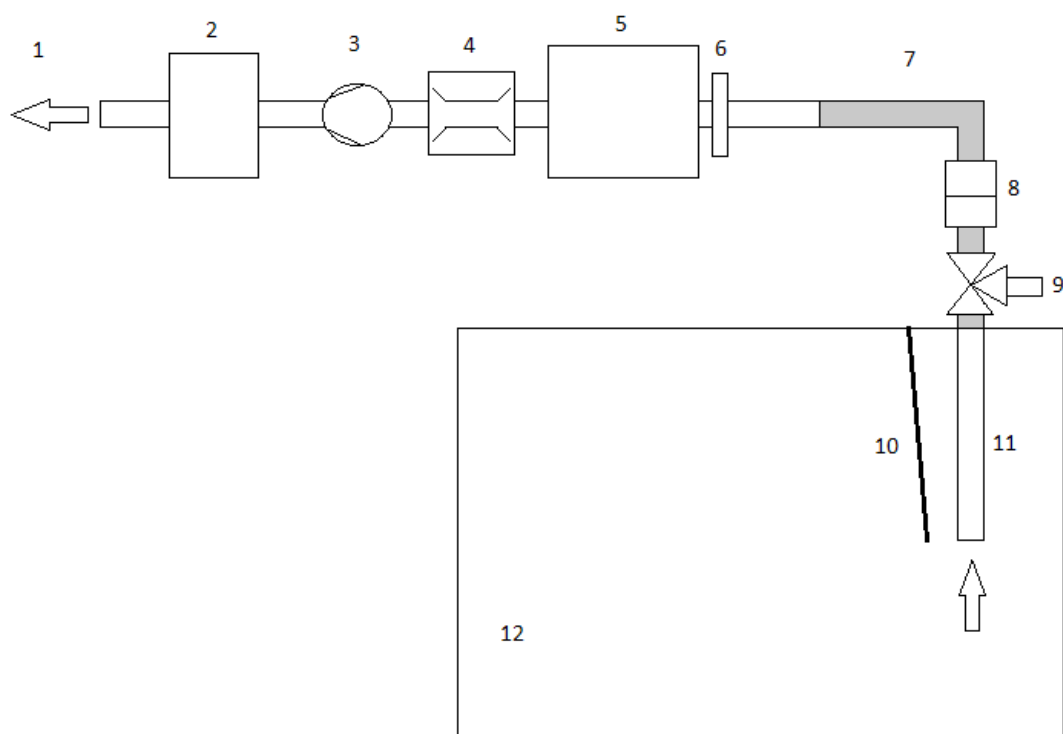
Podczas badania trzeba obserwować i rejestrować czasy występowania nieciągłego płomienia (min. 10 s), zapłonu i wypalenia próbki. W przypadku badania dymu okres próbny wynosi zawsze 20 min. Podczas tej procedury dane dotyczące gęstości dymu należy zbierać w sposób ciągły [8]. Dane, które powinny zostać pozyskane podczas testu [20]:

- początkowa temperatura ścianki komory;
- czas zapłonu i czas wygaśnięcia próbki;
- temperatura sondy z maksymalnym interwałem czasowym 5 s;
- widmo FTIR atmosfer próbkowanych po 240 i 480 s;
- ciśnienie wewnętrzne komory, jeżeli przekracza ono ok. 15 hPa;
- początkowa masa próbki;
- inne (na przykład: opadanie, świecenie lub topnienie próbki w trakcie testu).

Before the toxicity test with the use of the first method, the test stand is prepared. At the beginning, the internal walls of the smoke chamber should be cleaned, along with supports and the sample handle. The probe for sample collection should also be cleaned with an air stream, and a clean filter should be installed in the filter element before each test. The next stage is equipment adjustment. It is necessary to verify temperature stabilisation and switch on the pump for FTIR sample collection [18]. If necessary, the sample flow should be adjusted [20]. The test operations sequence should be as follows:

During the first test, the duration of non-continuous flame (min 10 s), ignition and sample combustion should be observed and recorded. In the case of smoke, the test duration is always 20 min. During the procedure, data on smoke density should be collected in a continuous way [8]. The data to be obtained during the test [20]:

- initial temperature of the chamber wall;
- time of sample ignition and extinction;
- probe's temperature with a maximum time interval of 5 s;
- FTIR spectrum for atmospheres sampled every 240 and 480 s;
- internal pressure in the chamber if higher than approx. 15 hPa;
- initial sample weight;
- other (e.g. subsidence, fluorescence or melting of the sample during the test).



Rycina 2. Schemat stanowiska badawczego według PN-EN 45545-2 [20]

Figure 2. Experimental set-up based on PN-EN 45545-2 [20]

1 – określone natężenie przepływu / dedicated flow velocity, 2 – licznik / measurement equipment, 3 – pompa / pump, 4 – przepływomierz / flow measurement), 5 – komórka gazowa FTIR / FTIR equipment, 6 – filtr zabezpieczający komórkę / protection filter, 7 – podgrzewana linia / hot line, 8 – filtr ciepła / heat filter, 9 – zawór / valve, 10 – termoelement / thermocouple, 11 – sonda do pobierania próbek / sample probe, 12 – wydech / gas outlet.

Metoda tzw. „pieca rurowego” jest kolejnym sposobem na badanie toksyczności opisanym w normie PN-EN 45545-2 [20]. Polega na wykorzystaniu do badań małej masy próbki (ok. 1 g). Sprzęt badawczy umieszcza się w komorze testowej, gdzie nie występuje ruch powietrza, w temperaturze 15–35°C oraz wilgotności względnej 20–80%. Rurowy piec należy ustawić pod wyciągiem, który jest w stanie wydobywać dym z komory po zakończeniu każdego badania. Przed badaniem próbki należy poddać kondycjonowaniu aż do uzyskania stałej masy [20].

Metodyka badawcza wg PN-B-02855

Metodyka badawcza według normy PN-B-02855 pozwala na klasyfikację materiałów w zależności od powstałej toksyczności spowodowanej rozkładem termicznym i spalaniem [21]. Mimo to norma ta nie pozwala na odzwierciedlenie rzeczywistego zagrożenia występującego podczas pożaru. Stanowisko badawcze składa się z kilku elementów. Głównym blokiem zestawu jest piec, w którym następuje rozkład termiczny próbek. Kolejny blok to urządzenie do regulacji oraz pomiaru temperatury pieca. Następny element służy do przesuwu pieca ze stabilizacją 20 mm/min. Pozostałe bloki to urządzenie do analizowania produktów rozkładu termicznego i spalania próbek oraz system doprowadzania powietrza, który utrzymuje przepływ na stałym poziomie 100 dm³/h [22]. Przed wykonaniem badania należy unormować przepływ powietrza oraz ustawić piec w położeniu

The pipe furnace method is another method for testing toxicity described in standard PN-EN 45545-2 [20]. Within that method, tests are based on low-weight samples (approx. 1 g). The test equipment is placed in the test chamber with no air movement, at a temperature of 15–35°C and relative humidity of 20–80%. The pipe furnace should be placed below an air extractor capable of extracting smoke from the chamber after each test. Before testing, the samples should be conditioned for constant weight [20].

Test methodology according to PN-B-02855

The test methodology according to standard PN-B-02855 makes it possible to rate materials depending on their toxicity caused by thermal decomposition and combustion [21]. However, the standard does not reflect the actual hazard occurring during a fire. The test stand consists of several elements. The main component is the furnace where the thermal decomposition of the samples takes place. Another section is a device for regulating and measuring the furnace's temperature. The next element is for furnace shifting with a shift stabilisation of 20 mm/min. The remaining sections include a device for analysing the products of thermal decomposition and the combustion of samples, and an air supply system which stabilises air flow at the level of 100 dm³/h [22]. Before the test, air flow should be stabilised and the furnace should be placed in its initial position. The next

wyjściowym. Kolejnym etapem jest ustawienie temperatury, a następnie jej ustabilizowanie. Następnie należy wprowadzić kufkę z próbką do rury kwarcowej. Czas trwania badania wynosi 30 min. Roztwór pochłaniający NaOH znajdujący się w płuczkach absorbuje produkty spalania, które zostają następnie odprowadzone do analizatora stężeń tlenku węgla i dwutlenku węgla w podczerwieni Infralyt 2206. Jeżeli różnica w wynikach wynosi ponad 30%, to należy próbkę zbadać trzeci raz [21].

Ocena toksyczności produktów spalania

Oceny toksyczności produktów spalania można dokonać na podstawie wyników testów przeprowadzonych na zwierzętach lub za pomocą analizy chemicznej.

W Europie odchodzi się od testów na zwierzętach, natomiast wykorzystuje się analizę chemiczną [1]. Polega ona na porównaniu wartości otrzymanych z danej metody pomiarowej ze zgromadzonymi danymi dotyczącymi śmiertelnych ofiar pożaru oraz badań na zwierzętach. W testach na zwierzętach mamy do czynienia z dorosłymi, zdrowymi osobnikami. Reakcja ludzkiego organizmu w warunkach toksycznych nie jest równoznaczna z reakcją zwierząt. Biorąc również pod uwagę fakt, że ofiarami są osoby o różnym stanie psychofizycznym, oddziaływanie toksyczności pożarowej może powodować efekty o innym nasileniu. W celu przełożenia danych reakcji zwierząt na reakcje ludzkie wykorzystywana jest ekstrapolacja. W przypadku analizy chemicznej ocena toksyczności środowiska pożarowego polega na wyznaczeniu parametrów FED i FEC [1]. Do generowania danych o toksyczności środowiska przyjmuje się wartości stężenia śmiertelnego poszczególnych substancji dla 50% badanych w 30-minutowym czasie ekspozycji. W tego typu metodach bazuje się na istniejących danych dotyczących śmiertelności szczurów, jak to opisano w literaturze [1] lub – od niedawna – szacunkowych danych dotyczących ludzi [6]. Opracowano dwa równania do oszacowania FED oparte na tym samym zbiorze danych dotyczących śmiertelności [1]. Zostały one zaczerpnięte z ISO 13344 [23] i wykorzystują wartości LC50, czyli dostarczają informacje o stężeniach poszczególnych gazów. Pozwalają one ustalić poziom toksyczności danego środowiska z wykorzystaniem wyników doświadczeń na szczurach poddanych danemu stężeniu gazu przez 30 min. Model N-gazowy w równaniu (1) zakłada, że efekt toksyczny tlenku węgla jest zwiększony przez wzrost częstotliwości oddechów spowodowany wysokim stężeniem dwutlenku węgla [1]:

$$FED = \frac{m[CO]}{[CO_2] - b} + \frac{21 - [O_2]}{21 - LC_{50,O_2}} + \frac{[HCN]}{LC_{50,HCN}} + \frac{[HCl]}{LC_{50,HCl}} + \frac{[HBr]}{LC_{50,HBr}} \dots \quad (1)$$

Model Pursera przedstawiony w równaniu (2) używa V_{CO_2} jako mnożnika dla dwutlenku węgla napędzającego hiperwentylację, zwiększając w ten sposób udział FED wszystkich toksycznych substancji. Zawiera również czynnik kwasowy A, który jest odpowiedzialny za toksyczność dwutlenku węgla [1]:

stage is temperature setting, followed by its stabilisation. After that, the tray with the sample should be inserted in the quartz tube. The test's duration is 30 min. A solution absorbing NaOH in the washers absorbs combustion products, and subsequently they are transported to the Infralyt 2206 infrared CO and CO₂ concentration analyser. If the difference in results exceeds 30%, the sample should be tested for a third time [21].

Assessment of toxicity of combustion products

Assessment of toxicity of combustion products can be performed on the basis of animal studies or chemical analysis. In Europe, animal testing is being abandoned in favour of chemical analysis [1], which consists in comparing the values obtained through some measurement method with data collected on fire fatalities and animal studies. Animal tests are performed on healthy adult organisms. Reaction of a human body in a toxic environment is not the same as that of animals. Taking into consideration the fact that the casualties are people in various mental and physical condition, the impact of fire toxicity may vary across individuals. In order to translate data on animal reactions to human responses, extrapolation is used. In the case of chemical analysis, the assessment of the toxicity of a fire environment requires the determination of FED and FEC parameters [1]. In order to generate data on the fire environment toxicity, the deadly concentration values of particular substances are used for 50% of the studied animals with exposure time of 30 min. These methods employ existing data on rat death rates, as described in [1] and, recently, estimated data on people [6]. Two formulae have been developed for estimating FED based on the same data source on death rates [1]. Both formulae are from ISO 13344 [23] and rely on LC50 values, providing information on the concentrations of specific gases for the calculation of the toxicity of a given environment on the example of rats subjected to specific gas concentrations for 30 min. The N-gas model in formula (1) assumes that the toxic effect of carbon monoxide increases with the rise in respiratory rate caused by a high CO₂ concentration [1]:

$$FED = \frac{m[CO]}{[CO_2] - b} + \frac{21 - [O_2]}{21 - LC_{50,O_2}} + \frac{[HCN]}{LC_{50,HCN}} + \frac{[HCl]}{LC_{50,HCl}} + \frac{[HBr]}{LC_{50,HBr}} \dots \quad (1)$$

Purser's model presented in formula (2) uses V_{CO_2} as the multiplier for CO₂, which causes hyperventilation, increasing FED across all toxic substances. It also contains acidic factor A, which is responsible for the toxicity of carbon dioxide [1]:

$$FED = \left\{ \frac{[CO]}{LC_{50,CO}} + \frac{[HCN]}{LC_{50,HCN}} + \frac{[AGI]}{LC_{50,AGI}} + \frac{[OI]}{LC_{50,OI}} \dots \right\} \times V_{CO_2} + A + \frac{21 - [O_2]}{21 - 5.4} \quad (2)$$

$$V_{CO_2} = 1 + \frac{\exp(0.14[CO_2]) - 1}{2}$$

gdzie [AGI] oznacza stężenie drażniących kwaśnych gazów, [OI] – stężenie organicznych substancji drażniących, natomiast [A] to współczynnik kwasowy równy $[CO_2] \times 0.05$ [1].

Oba równania dotyczą śmiertelności lub przyczyny śmierci. Wiele osób nie jest w stanie uciec z pożaru ze względu na ograniczoną widoczność w dymie, a także jego drażniące składniki oddziaływujące na oczy oraz drogi oddechowe. Równania (3) i (4) zostały zaczerpnięte z ISO 13571 [24]. Pozwalają na obliczenie FED gazów duszących, tlenku węgla i cyjanowodoru, ale bez uwzględnienia niedostateku tlenu lub hiperwentylacji napędzanej przez dwutlenek węgla. Frakcyjne skuteczne stężenie FEC wskazuje na drażniące gazy występujące w pożarze, powodujące problem z ucieczką [1].

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[CO]}{35'000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp\left(\frac{[HCN]}{43}\right)}{220} \Delta t \quad (3)$$

$$FEC = \frac{[HCl]}{LC_{50,HCL}} + \frac{[HBr]}{LC_{50,HBr}} + \frac{[HF]}{LC_{50,HF}} + \frac{[SO_2]}{LC_{50,SO_2}} + \frac{[NO_2]}{LC_{50,NO_2}} + \frac{[acrolein]}{LC_{50,acrolein}} + \frac{[formaldehyde]}{LC_{50,formaldehyde}} + \sum \frac{[irritant]}{LC_{50,irritant}} \quad (4)$$

Równanie (2) opisuje przypadek, w którym istnieją dwa znaczące duszące gazy pożarowe: tlenek węgla i cyjanowodor. Równanie (4) do oszacowania łącznego efektu wszystkich gazów wykorzystuje zasadę podobną jak w równaniu (1) [25].

Podsumowanie

Fundamentalnym wymogiem projektowym dla każdej zamkniętej przestrzeni użytkowej (takiej jak budynki czy pojazdy transportowe) jest zapewnienie bezpiecznej ewakuacji ludzi w przypadku pożaru. Główną przyczyną obrażeń i śmierci w pożarach jest narażenie na toksyczne produkty spalania (dym i gazy toksyczne), zaś kolejną wiodącą przyczyną jest narażenie na ciepło. Konieczne jest zatem, aby w razie pożaru umożliwić pasażerom lub użytkownikom obiektów ucieczkę, zanim zostaną obezwładnieni przez toksyczny gaz lub ciepło. Jest to wymóg regulacyjny we wszystkich istniejących na świecie przepisach techniczno-budowlanych. Stanowi on, że budynek powinien być zaprojektowany oraz wykonany w taki sposób, aby istniały odpowiednie warunki dla wczesnego ostrzegania o pożarze oraz odpowiednie środki ucieczki z budynku do miejsca poza nim, które jest bezpiecznie i skutecznie użytkowane we wszystkich istotnych momentach. Zagrożenie pożarowe i bezpieczeństwo pożarowe zależą od wyniku dwóch równoległych linii czasowych. Pierwsza z nich – ASET – jest czasem

$$FED = \left\{ \frac{[CO]}{LC_{50,CO}} + \frac{[HCN]}{LC_{50,HCN}} + \frac{[AGI]}{LC_{50,AGI}} + \frac{[OI]}{LC_{50,OI}} \dots \right\} \times V_{CO_2} + A + \frac{21 - [O_2]}{21 - 5.4} \quad (2)$$

$$V_{CO_2} = 1 + \frac{\exp(0.14[CO_2]) - 1}{2}$$

where [AGI] is the concentration of irritant acidic gases, [OI] is the concentration of organic irritant substances, and [A] is the acidic coefficient equal to $[CO_2] \times 0.05$ [1].

Both formulae refer to death rates or causes of death. Many people are not able to escape from a fire due to limited visibility in smoke and the presence of substances with irritating effects on the eyes and the respiratory tract. Formulae (3) and (4) are taken from ISO 13571 [24]. They are used to calculate FED for asphyxiant gases, carbon monoxide and hydrogen cyanide, without taking into consideration oxygen deficiency or hyper-ventilation caused by carbon dioxide. The fractional effective dose of FEC is for calculating asphyxiant gases occurring in a fire which cause difficulties with escaping [1].

$$FED = \sum_{t_1}^{t_2} \frac{[CO]}{35'000} \Delta t + \sum_{t_1}^{t_2} \frac{\exp\left(\frac{[HCN]}{43}\right)}{220} \Delta t \quad (3)$$

$$FEC = \frac{[HCl]}{LC_{50,HCL}} + \frac{[HBr]}{LC_{50,HBr}} + \frac{[HF]}{LC_{50,HF}} + \frac{[SO_2]}{LC_{50,SO_2}} + \frac{[NO_2]}{LC_{50,NO_2}} + \frac{[acrolein]}{LC_{50,acrolein}} + \frac{[formaldehyde]}{LC_{50,formaldehyde}} + \sum \frac{[irritant]}{LC_{50,irritant}} \quad (4)$$

Formula (2) describes a case where two major asphyxiant fire gases – carbon monoxide and hydrogen cyanide – co-occur. Formula (4) employs a rule similar to (1) to estimate the overall effect of all gases [25].

Summary

The basic design requirement for any enclosed space with a utility function (such as buildings and vehicles) is to ensure safe evacuation in case of fire. The main cause of death and injuries is exposure to toxic combustion products (smoke and toxic gases), with another leading cause being exposure to heat. Therefore, it is necessary to provide a possibility of escaping from fire before people get overwhelmed by toxic gases or heat. This is a regulatory requirement in all technical and building regulations existing across the world. It states that a building should be designed and made in such a way as to provide suitable conditions for early warning of a fire and appropriate ways of escaping from the building to a safe place, which can be effectively used when necessary. Fire hazard and fire safety depend on two parallel timelines. The first of them, ASET, is the time from the onset of a fire to the creation of an overpowering effect, and the second, RSET, is the time required for a person to get to a safe place [26]. During the assessment of fire hazards, it is important to consider all effects of a fire which can have

od pojawienia się ognia do rozwoju warunków obozujących, druga – RSET – jest czasem niezbędnym na dotarcie przez użytkownika do bezpiecznego miejsca [26]. Podczas oceny zagrożenia pożarowego należy wziąć pod uwagę wszelkie skutki oddziaływania pożaru, które mogą wpłynąć na wydłużenie czasu ucieczki (np. ograniczona prędkość chodzenia), w tym przede wszystkim toksyczne produkty spalania. Konieczne jest również określenie wszelkich efektów oddziaływania toksycznych produktów spalania podczas pożaru w budynkach, które mogłyby uniemożliwić ewakuację lub spowodować śmierć użytkowników tych budynków na skutek narażenia na wpływ toksycznych produktów spalania.

an impact on the escape time (e.g. limited walking speed), with particular emphasis on toxic combustion products. It is also necessary to identify all effects of toxic combustion products during a fire in buildings which could prevent evacuation or lead to the death of the users of those buildings due to exposure to such toxic substances.

Literatura / Literature

- [1] Stec A.A., Hull T.R., *Fire toxicity*, Wydawnictwo CRC Press, USA, 2010.
- [2] Węgrzyński W., Vigne G., *Experimental and numerical evaluation of the influence of the soot yield on the visibility in smoke in CFD analysis*, „Fire Safety Journal” 2017, 91, 389–398.
- [3] Telejko M., Zender-Świercz E., *Attempt to Improve Indoor Air Quality in Kindergartens*, „Procedia Engineering” 2016, 161, 1704–1709.
- [4] Zender-Świercz E., Telejko M., *Impact of Insulation Building on the Work of Ventilation*, „Procedia Engineering” 2016, 161, 1731–1737.
- [5] Jankowska G., Przygocki W., Włochowicz A., *Palność polimerów i materiałów polimerowych*, WNT, Warszawa 2007.
- [6] Porowski R., *Awaryjne uwolnienia substancji palnych do środowiska*, Wydawnictwo Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Warszawa 2017.
- [7] Porowski R., *Wprowadzenie do analizy termicznej polimerów*, „Tworzywa Polimerowe w Przemśle” 2018, 5, 26–33.
- [8] Porowski R., Węsierski T., Małozieć D., *Application of data statistics for fire risk analysis in residential buildings*, „Archivum Combustionis” 2016, 36(2), 147–158.
- [9] Hertzberg T., Blomqvist P., M. Dalene M., Skarping G., *Raport z Projektu badawczego nr 324–021, Particles and isocyanates from fires*, SP Swedish National Testing and Research Institute, 2003.
- [10] Blomqvist P., Rossel L., Simonson M., *Emissions from fires, Part 1: Fire retarded and non-retarded TV-sets*, „Fire Technology” 2004, 40, 39–58.
- [11] Blomqvist P., Rossel L., Simonson M., *Emissions from fires, Part 2: Simulated room fires*, „Fire Technology” 2004, 40, 59–73.
- [12] Giebułtowski J., Rużycka M., Wroczyński P., Pursuer D.A., Stec A.A., *Analysis of fire deaths in Poland and influence of smoke toxicity*, „Forensic Science International” 2017, 277, 77–87.
- [13] Hull T.R., Lebek K., Paul K.T., *Correlation of toxic product yields from tube furnace tests and large scale fires*, Proceedings of the 8 International Symposium of Fire Safety Science, 2015, 1059–1070.
- [14] Hull T.R., Lebek K., Pezzani M., Messa S., *Comparison of toxic product yields of burning cables in bench and large-scale experiments*, „Fire Safety Journal” 2008, 43, 140–150.
- [15] Gann R.G., Babrauskas V., Peacock R.D., Hull J.R., *Fire conditions for smoke toxicity measurements*, „Fire and Materials” 1994, 18, 193–199.
- [16] ISO/TR 19700 Controlled equivalence ratio method for determination of hazardous components of fire effluents. Steady-state tube furnace, 2016.
- [17] ISO 19702 Guidance for sampling and analysis of toxic gases and vapours in fire effluents using Fourier Transform Infrared (FTIR) spectroscopy, 2015.
- [18] Smith B.C., *Fundamentals of Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, Wydawnictwo CRC Press, Boca Raton 2011.
- [19] Porowski R., Gieras M., *Laboratorium Spalania*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2018.
- [20] PN-EN 45545-2+A1, Kolejnictwo. Ochrona przeciwpożarowa w pojazdach szynowych. Część 2: Wymagania dla materiałów i elementów w zakresie właściwości ogniowych, 2015.
- [21] PN-B-02855 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metoda badania wydzielania toksycznych produktów rozkładu i spalania materiałów, PKN, 1988.
- [22] Półka M., *Analiza toksyczności produktów rozkładu termicznego i spalania uzyskanych z wybranych materiałów epoksydowych*, BITP Vol. 19 Issue 3, 2010, pp. 73–82.
- [23] ISO 13344 Estimation of the lethal toxic potency of fire effluents, 2004.
- [24] ISO 13571 Life-threatening components of fire – Guidelines for the estimation of time to compromised tenability in fires, 2012.
- [25] Babrauskas V., *Ignition Handbook: Principles and Applications to Fire Safety Engineering, Fire Investigation, Risk Management and Forensic Science*, Fire Science Publishers, 2003.
- [26] Gałąź J., Jaskółowski W., Konecki M., Tofiło P., Tuśnio N., *Interaktywne modułowa platforma oceny zagrożenia pożarowego budynków jako narzędzie wspomagające projektowanie budynków i obiektów budowlanych*, „Zeszyty Naukowe SGSP” 2013, 47(3), 161–175.

BRYG. DR HAB. INŻ. RAFAŁ POROWSKI – w roku 2002 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. W 2013 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, a w 2019 r. stopień doktora habilitowanego nauk technicznych na Wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Jest adiunktem na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Specjalność – procesy spalania i modelowanie numeryczne. Od 2018 r. pełni funkcję zastępcy dyrektora Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – PIB.

PROF. DR HAB. INŻ. ZBIGNIEW KUŹNICKI – pracownik naukowy Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej, gdzie w Katedrze Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej zajmuje się badaniami naukowymi w obszarze fotowoltaiki, energii słonecznej, jak również techniką ciepłą. Autor wielu opracowań i opinii eksperckich, jak również publikacji naukowych.

BRYG. MGR INŻ. DANIEL MAŁOZIĘĆ – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie (1990). Obecnie pełni funkcję kierownika w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w CNBOP-PIB. Autor licznych artykułów o tematyce bezpieczeństwa pożarowego, właściwości palnych materiałów budowlanych oraz wielu ekspertyz związanych z ustalaniem przyczyn pożarów.

MGR INŻ. ANNA DZIECHCIARZ – absolwentka Wydziału Technologii Chemicznej Politechniki Poznańskiej. Od 2013 roku pracuje w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej – PIB w Józefowie.

BRIG. RAFAŁ POROWSKI, D.SC. ENG. – in 2002 he graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering of the Main School of Fire Service. In 2013 he obtained the degree of Doctor of Technical Sciences at the Faculty of Power and Aeronautical Engineering of the Warsaw University of Technology, and in 2019 he was conferred a post-doctoral degree in technical sciences at the Faculty of Building Services, Hydro and Environmental Engineering of the Warsaw University of Technology. Currently works as an Assistant Professor at the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering of the Kielce University of Technology. He specialises in combustion processes and numerical modelling. Since 2018, he has been Deputy Director of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute.

PROF. ZBIGNIEW KUŹNICKI, D.SC. ENG. – an independent academic at the Faculty of Environmental Engineering, Geomatics and Energy Engineering at the Kielce University of Technology, where in the Department of Building Physics and Renewable Energy he carries out research in the field of photovoltaics, solar energy as well as thermal technology. He is an author of many publications, expert opinions and scientific works.

BRIG. DANIEL MAŁOZIĘĆ, M.SC. ENG. – graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw (1990). He currently works as the Head of the Combustion Processes and Explosions Laboratory of CNBOP-PIB. He has written numerous articles on fire safety, the properties of flammable building materials and has prepared a number of evaluations determining the causes of fires.

ANNA DZIECHCIARZ M.SC. ENG. – a graduate of the Faculty of Chemical Technology, Poznań University of Technology. Since 2013 she has been working in the Combustion Processes and Explosions Laboratory of CNBOP-PIB in Józefów.



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.

U NAS ZAWSZE OTWARTE



OTWARTY DOSTĘP

DO PUBLIKACJI
CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZEGO
OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ – PIB

WEJDŹ NA
WWW.CNBOP.PL/WYDAWNICTWA

CZYTAJ I POBIERAJ

Борис Александр Павлович / Boris Aleksandr Pavlovich^{a)}

^{a)}Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты / The Ukrainian Civil Protection Research Institute
Corresponding author: undicz@mns.gov.ua

Нормативное регулирование дислокации пожарных подразделений в Украине

Statutory Regulation of Fire Unit Location in Ukraine

Normatywna regulacja dyslokacji jednostek pożarniczych na Ukrainie

АННОТАЦИЯ

Цель: Теоретическое описание нормативного регулирования дислокации пожарно-спасательных подразделений в населенных пунктах Украины.

Введение: В статье приведены результаты научных разработок группы ученых Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты во главе с автором статьи направленных на повышение эффективности системы реагирования на опасные события (пожары) в Украине.

Методология: Аналитические, вероятностно-статистические, экспертных оценок, расчетные методы определения средней скорости ПА на основе статистических данных, методы программно-аппаратного моделирования по определению места дислокации ПРП с использованием GIS технологий.

Результаты: Представлен анализ механизмов государственного регулирования путем нормативно-технической регуляции системы реагирования на пожары, а именно: мест дислокации пожарно-спасательных частей и основных критериев, используемых при определении районов выезда (зон обслуживания) пожарно-спасательных подразделений на территориях населенных пунктов Украины и стран мира, рассмотрены особенности существующих подходов к дислокации пожарно-спасательных частей и определение границ района выезда пожарно-спасательных подразделений в Украине.

Приведены последовательность и результаты исследований по реализации критерия времени прибытия пожарно-спасательного подразделения к месту вызова (временной критерий), основанного на определении средней скорости движения основных пожарных автомобилей в зависимости от типа населенного пункта, количества населения и других критериев, влияющих на достоверность результатов вычисления. Рассмотрены положения нормативных изменений, обусловленных нормативно-техническими актами Украины по дислокации пожарно-спасательных частей и районов выезда пожарно-спасательных подразделений.

Представлен основной порядок введенного в Украине механизма установления мест дислокации пожарно-спасательных частей и определения районов выезда пожарно-спасательных подразделений на основе критерия времени прибытия.

Ключевые слова: государственное регулирование, дислокация, пространственный критерий, временной критерий, время прибытия, пожарно-спасательная часть, район выезда, зоны расстояний, пожарно-спасательное подразделение, пожарный автомобиль

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 18.09.2018; Рецензирована: 03.12.2018; Одобрена: 20.12.2018;

Идентификатор ORCID автора: 0000-0002-5998-2964;

Просим ссылаться на статью следующим образом: БіТР Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 100–107, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.6>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRACT

Purpose: A theoretical description of the statutory regulation of fire rescue unit location in the cities and towns in Ukraine.

Introduction: The article presents the results of scientific findings of a group of scientists of the Ukrainian Civil Protection Research Institute headed by the author of this article, aimed at increasing the effectiveness of the response system to dangerous events (fires) in Ukraine.

Methodology: Analytical, probabilistic-statistical, expert estimates, estimate-based methods for determining the average speed of fire engines based on statistical data, HIL simulation methods for determining the location of fire rescue units, by employing GIS technologies.

Results: An analysis of the mechanisms of the state regulation, by means of regulatory and technical regulations, of the fire-response system is presented, namely: the locations of fire rescue departments and the main criteria used to determine the areas of departure (service areas) of fire rescue units within cities and towns in Ukraine and the world. Also considered are the characteristics of the existing approaches to the location of fire rescue departments and the determination of the boundaries of the area of departure of fire rescue units in Ukraine.

The presented data indicate the order and results of research into the implementation of the criterion of time of arrival of the fire rescue unit to the place of call (time criterion) based on the determination of the average speed of regular fire vehicles, depending on the type of city/town, population and other criteria affecting the reliability of the estimate.

The provisions of amended regulations resulting from the regulatory and technical acts of Ukraine on the location of fire rescue departments and areas of departure of fire rescue units were also analysed.

The analysis also covers the principle of the mechanism introduced in Ukraine for establishing the location of the fire rescue departments and the determination of the areas of departure of fire rescue units based on the time of arrival criterion.

Keywords: state regulation, location, spatial criterion, time criterion, arrival time, fire rescue department, area of departure, distance zones, fire rescue unit, fire engines

Type of article: review article

Received: 18.09.2018; Reviewed: 03.12.2018; Accepted: 20.12.2018;

Author's ORCID ID: 0000-0002-5998-2964;

Please cite as: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 100–107, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.6>;

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

ABSTRAKT

Cel: Opis teoretyczny normatywnego uregulowania dyslokacji jednostek ratowniczo-gaśniczych w miejscowościach Ukrainy.

Wprowadzenie: W artykule przedstawiono wyniki opracowań naukowych grupy naukowców z Ukraińskiego Naukowo-Badawczego Instytutu Obrony Cywilnej na czele z autorem artykułu, nakierowanych na podniesienie efektywności systemu reagowania na niebezpieczne zdarzenia (pożary) na Ukrainie.

Metodologia: Wykorzystano metody analityczne, prawdopodobieństwo statystyczne, oceny ekspertów, a także metody szacunkowe określenia średniej prędkości samochodów pożarniczych na podstawie danych statystycznych. Autorzy zastosowali również symulację HIL w celu ustalenia miejsca dyslokacji jednostek przeciwpożarowych z użyciem technologii GIS.

Wyniki: Przedstawiono analizę mechanizmów państwowej regulacji, za pomocą uregulowań normatywno-prawnych, systemu reagowania na pożary, a dokładnie: miejsc dyslokacji jednostek ratowniczo-gaśniczych oraz głównych kryteriów, wykorzystywanych przy określaniu rejonów wyjazdu (stref obsługi) jednostek ratowniczo-gaśniczych na terytoriach miejscowości Ukrainy i krajów świata, rozpatrzono właściwości istniejących koncepcji w odniesieniu do dyslokacji jednostek ratowniczo-gaśniczych i określenia granic rejonu wyjazdu jednostek ratowniczo-gaśniczych na Ukrainie.

Przedstawiono kolejność i rezultaty badań dotyczące realizacji kryterium czasu przybycia jednostki ratowniczo-gaśniczej na miejsce wezwania (kryterium czasowe), przyjętego w oparciu o średnią prędkość podstawowych samochodów pożarniczych w zależności od rodzaju miejscowości, liczby ludności i innych zmiennych, wpływających na wiarygodność rezultatów oszacowania.

Przeanalizowano zapisy zmian normatywnych, wprowadzonych normatywno-technicznymi aktami Ukrainy dotyczącymi dyslokacji jednostek ratowniczo-gaśniczych i rejonów ich wyjazdów.

Przedstawiono główny tryb wprowadzonego w Ukrainie mechanizmu ustalania miejsc dyslokacji jednostek ratowniczo-gaśniczych i określania rejonów wyjazdu jednostek ratowniczo-gaśniczych na podstawie kryterium czasu przybycia.

Słowa kluczowe: regulacja państwowa, dyslokacja, kryterium przestrzeni, kryterium czasowe, czas przybycia, jednostka ratowniczo-gaśnicza, rejon wyjazdu, strefy odległości, oddziały ratowniczo-gaśnicze, samochód pożarniczy

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 18.09.2018; Zrecenzowany: 03.12.2018; Zatwierdzony: 20.12.2018;

Identyfikator ORCID autora: 0000-0002-5998-2964;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 100–107, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.6>;

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

Введение

Значительная роль в обеспечении функций гражданской защиты Украины возложена на систему реагирования на опасные события, связанные с ликвидацией пожаров. Основу функциональной подсистемы реагирования на чрезвычайные ситуации, проведения аварийно-спасательных и других неотложных работ Единой государственной системы гражданской защиты составляют подразделения Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям. Закономерно, что государственное регулирование гражданской защиты в сфере реагирования на опасные события, в первую очередь, связано с регламентацией деятельности пожарно-спасательных и аварийно-спасательных подразделений, от выбора мест дислокации которых зависит оперативность и эффективность ликвидации и минимизации последствий опасных событий, чрезвычайных ситуаций.

Государственное регулирование гражданской защиты в части технической регламентации сферы реагирования на опасные события (чрезвычайные ситуации),

регламентированные нормативными актами Украины [1–5], касаются определения мест дислокации пожарно-спасательных частей на территориях населенных пунктов и комплектования размещенных в них пожарно-спасательных подразделений пожарной техникой. Указанные подходы заложили структуру существующей государственной системы реагирования на опасные события, основой которой является ликвидация пожаров и спасение людей на них. В частности, использование критерия радиуса обслуживания (пространственного критерия) при обосновании мест дислокации пожарно-спасательных частей (ПСЧ), который заключается в установлении относительной точки размещения ПСЧ и определения зоны обслуживания пожарно-спасательного подразделения (ПСП) в соответствии с воображаемым радиусом (радиус обслуживания) в виде несимметричной формы приближенной к кругу.

Альтернативным подходом по определению мест дислокации ПСЧ введенным [6] является критерий времени

прибытия первого пожарного автомобиля (ПА) государственных ПСП к месту вызова, так называемый временной критерий, согласно которому дислокация ПСЧ должна обеспечить оптимальный район выезда ПСП в функциональной зоне населенного пункта – зону обслуживания, ограниченную 10 минутным сроком прибытия ПА к местам возможного вызова в городах и 20 минутным сроком в сельских населенных пунктах. Однако для реализации указанного критерия оставался не нормированным механизм его использования в части исходных данных при проектировании населенных пунктов. Наряду с отсутствием исходных данных о месте дислокации ПСЧ возникала необходимость совершенствования критериев их комплектации ПА с учетом характеристик района выезда: высоты застройки, особенностей техногенной и пожарной опасности, обеспеченности источниками водоснабжения, дорог и условий проезда. Также не учитывались статистические закономерности потоков вызовов ПСП, которые характеризуются временем их занятости (параметр оперативной обстановки), что влияет на обоснование количества ПА.

Основная часть

В настоящее время в Украине насчитывается 1089 ПСЧ по охране населенных пунктов. Такое количество не обеспечивает выполнения ранее единого урегулированного критерия радиуса обслуживания (пространственного критерия) ПСП, который для функциональных зон населенных пунктов составляет 3 км по дорогам общего пользования [11].

На рисунке 1 приведена схема размещения ПСЧ в г. Киеве, которая может быть рассмотрена как практический пример реализации пространственного критерия. Таким образом, можно утверждать, что риск получения несвоевременной помощи в случае возникновения опасного события (пожара) населением на части территорий г. Киева значителен. Количество имеющихся ПСЧ не соответствует установленным строительным нормам, а для выполнения нормативных требований с применением критерия радиуса обслуживания на территории г. Киева должны быть размещены еще около 25 ПСЧ. Следует отметить, что аналогичная ситуация характерна и для других населенных пунктов Украины.

Также необходимо отметить, что при определении мест дислокации существующих ПСЧ количество жителей населенного пункта (района застройки) не учитывалась ни одним нормативным документом, а применение пространственного критерия, как основного норматива образования ПСЧ, определенного [11], подлежит дальнейшему обоснованию.

Следует отметить, что на территории Украины критерии образования ПСЧ реализуются не в полной мере. Единственным практическим решением обеспечения безопасности граждан в сложившихся условиях являлось применение новых подходов к определению мест дислокации

Опираясь на исследования ученых [7-10], Украинским научно-исследовательским институтом гражданской защиты (Институт) разработаны, а Министерством регионального развития Украины реализованы, нормативные изменения [11] в строительные нормы Украины, которыми отменено действие [1-4] и введены основы альтернативного подхода к дислокации и новая классификация ПСЧ. При этом проектирование пожарных депо под размещение ПСП в Украине обеспечивалось [4], что не соответствовало новым критериям. Для реализации механизма образования ПСЧ государственными строительными нормами [11] возникла необходимость разработки соответствующего национального стандарта [12].

Таким образом, была обусловлена научно-исследовательская работа, направленная на совершенствование нормативной базы системы реагирования на пожары путем обоснования мест дислокации ПСЧ в населенных пунктах, определение районов выезда ПСП, критериев комплектации пожарных депо ПА, а также разработка требований по проектированию территории и зданий ПСЧ.

и нормативных требований к типам ПСЧ и их комплектации ПА, которые учитываются временным критерием. Однако его параметры, определенные нормативными документами [6, 11], не могли быть реализованы из-за отсутствия соответствующих исходных данных для их расчетов.

Анализ зарубежных источников [13–24] указывает, что в большинстве стран при определении места дислокации при образовании ПСЧ используется именно временной критерий (критерий времени прибытия) исходными данными, для реализации которого является средняя скорость движения ПА.

Скорость ПА, как правило, определяется статистическими данными, либо путем экспериментальных исследований и расчетов. Следует отметить, что такой подход позволяет учесть состояние дорог, интенсивность движения, рельеф местности, наличие инженерных сооружений и природных объектов, которые могут создать препятствие движению ПА. Использование такого подхода присуще следующим странам: Великобритания, Германия, Польша, Россия, Австрия, Бельгия, Греция, Дания, Ирландия, Норвегия. Вместе с тем, в Беларуси, США, Франции, Болгарии используют и пространственный критерий (критерий радиуса обслуживания).

В Польше, Германии количество и тип ПА определяет по результатам детального анализа пожарной и техногенной опасности местности (статистика пожаров, время отклика на вызовы, время обслуживания одного вызова, количество населения, площадь населенного пункта и т.п.), по результатам чего проводятся соответствующие расчеты сил и средств или делаются экспертные выводы. В таких странах, как Греция, Румыния, Финляндия, Болгария наряду с количеством населения при определении типажа

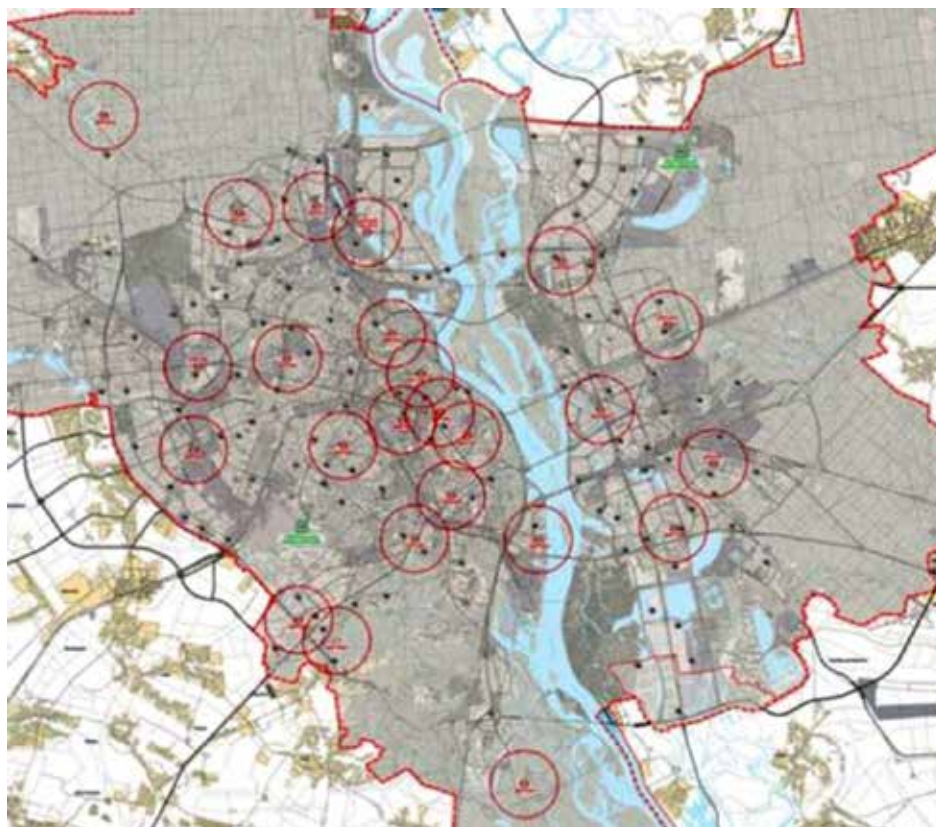


Рисунок 1. Схема дислокации ПСЧ на территории г. Киева [11]

Figure 1. Scheme of dislocation of State Fire Service entities in Kiev [11]

и количества ПА учитывается такой критерий, как пожарная опасность объекта защиты.

Институтом с целью улучшения эффективности системы реагирования на опасные события (пожары) в течение последних лет откорректированы нормативные положения „старого” подхода, чем заложено нормативное основание для внедрения альтернативного - временного критерия дислокации ПСЧ и определения районов выезда ПСП [11]. В том числе через внедрение новой классификации типов пожарных депо, которая зависит от количества единиц пожарной и аварийно-спасательной техники, что может быть в них размещена:

I типа – 7 и более единиц;

II типа – 2–6 единиц;

III типа – 1 единица.

Для реализации механизма временного критерия (критерий времени прибытия) группой ученых проведены научные исследования, результаты которых стали основанием для введения нового нормативного акта [12].

Основным параметром временного критерия установленного [12] является средняя скорость движения первого основного ПА от места дислокации ПСЧ к месту вызова. Для ее определения Институтом разработана соответствующая Методика определения средней скорости пожарных автомобилей основанная на анализе общей статистической информации о выездах ПСП на вызовы за последние десять лет, уточненных статистических данных ГУ (У) ГСЧС

Украины в областях, г. Киеве за 2015 год и математической обработке полученных результатов.

Перед началом расчета статистические данные проверялись, согласно [25], на наличие выбросов и квазивыбросов с применением критерия Граббса по одному показателю с полученных данных для каждой установленной группы населенных пунктов.

Для определения предельной скорости ПА осуществлено построение эмпирических функций распределения исследуемой скорости движения ПА на основе гистограмм с соответствующей оценкой параметров распределений (среднего значения и среднеквадратичного отклонения).

Общий теоретический подход к построению гистограмм и вычислению их параметров соответствует [26], а практическая реализация этого подхода [14]. Вычисление параметров распределения скорости движения проводилось путем формирования выборки случайных величин скорости движения и установления сгруппированного статистического ряда. Для определения количества интервалов групп использована формула Брукса.

Для учета факторов, влияющих на скорость движения, Методикой, согласно [14], предложено использование порогового значения скорости движения ПА, с учетом факторов, влияющих на нее (погодные условия, пробки на дорогах и т.п.) и групп населенного пункта по численности населения согласно [11].

С целью получения исходных данных для определения средней скорости движения ПА, широкий пласт статистических данных на основе общей статистики о пожарах был дополнен уточненными статистическими данными за 2015 год. Из полученных значений средней скорости движения ПА было определено среднее арифметическое значение для групп населенных пунктов с учетом данных о количестве одновременных вызовов, включая одновременные вызовы на 2 и более пожаров.

По результатам проверки расчетных данных на наличие выбросов и квазивыбросов были изъяты определенные значения и сформированы данные средней скорости движения ПА по группам населенных пунктов Украины.

На основе вышеупомянутого подхода были проведены расчеты распределения скорости движения к месту вызова для каждой из групп населенных пунктов для первых основных ПА. Полученные предельные скорости движения

для различных групп населенных пунктов были актуализированы в соответствии с группами населенных пунктов согласно [11] и представлены в таблице 1.

На основе определенных показателей средней скорости ПА в зависимости от групп населенных пунктов проведена математическая апробация определения мест дислокации ПСЧ, районов выезда ПСП. Апробация существующих программно-аппаратных комплексов из расчета маршрутов движения ПА и определения мест дислокации ПСЧ в населенных пунктах доказала эффективность использования свободной кроссплатформенной геоинформационной системы QGIS (Quantum GIS), которая представляет собой аналог системы ArcGIS.

Большое внимание при проведении апробации уделено сравнению результатов расчетов с применением временного и пространственного критериев по определению районов выезда существующих ПСП. Отдельные данные, кото-

Таблица 1. Средняя скорость движения пожарных автомобилей Украины [11]

Table 1. An average speed of fire vehicles in Ukraine [11]

Группы населенных пунктов по численности населения, тысяч человек							
малые				средние	большие	очень большие	самые большие
до 5	от 5 до 10	от 10 до 20	от 20 до 50	от 50 до 100	от 100 до 250	от 250 до 800	более 800
Предельная скорость движения пожарного автомобиля, км/ч							
31,0	32,0	33,0	35,0	35,0	35,0	39,0	26,0

рые касаются схематических изображений района выезда государственной пожарной части №8, расположенной в Голосеевском районе г. Киева, приведены на рисунках 2 и 3.

Визуализация проведенных расчетов наглядно демонстрирует существенную разницу конечных данных математического моделирования и позволяет четко установить различия практического применения подходов.

Так, общая площадь зоны доступного расстояния (зеленый цвет) при проведении расчетов с применением временного критерия составит 38,7 км², а при применении пространственного критерия должна составлять 22,4 км², в реальности – 19,8 км².

К механизму пространственного критерия можно применить понятие только зоны доступного и недоступного расстояния. То есть, последняя зона, которая составляет в приведенном варианте 6,97 км² (красный цвет), это – территория расположенная за пределами нормированной в радиусе 3 км, где ПСП не несет ответственности за несвоевременность оказания помощи пострадавшим в результате опасного события. При этом использование критерия не предусматривает определения зоны ограниченного расстояния (желтый цвет), которая обусловлена возможностью предоставления пожарными первичной медицинской помощи человеку, находящемуся в состоянии клинической смерти, а именно: прибытие первого ПА к месту вызова в период до 14 минут. В отличие от приведенного, механизм временного критерия значительно ограничивает возможность расширения района выезда ПСП путем присоединения зон недоступного расстояния.

В случае необходимости снижения риска несвоевременного прибытия ПСП применение временного критерия позволяет корректировать временной параметр и устанавливать его меньшим, чем 10 минут. Особенностью использования этого критерия также является определение зон в районе выезда ПСП, которые одновременно являются границами юридической ответственности за непредоставление или несвоевременное предоставление без уважительных причин первичной медицинской помощи человеку на месте опасного события, установленной законодательно [27] в рамках уголовной ответственности [28].

На основе исследований были сформированы общие положения Государственного национального стандарта Украины [12]. Кроме установленного [11] критерия радиуса обслуживания (пространственного критерия) введен механизм и последовательность реализации критерия времени прибытия (временного критерия) основанного на расчете времени прибытия первого основного ПА к месту возможного вызова.

Согласно [12] дислокации ПСЧ и районы выезда ПСП с применением расчета времени прибытия определяют в зависимости от группы населенного пункта и предельной скорости движения ПА, приведенной в таблице 1.

Для определения дислокации ПСЧ в населенном пункте проводят уточнение границ районов выездов имеющихся ПСП с учетом приведенной предельной скорости и определяют зоны недоступного, ограниченного расстояния и зоны пересечения доступных расстояний районов выезда ПСП в населенном пункте.

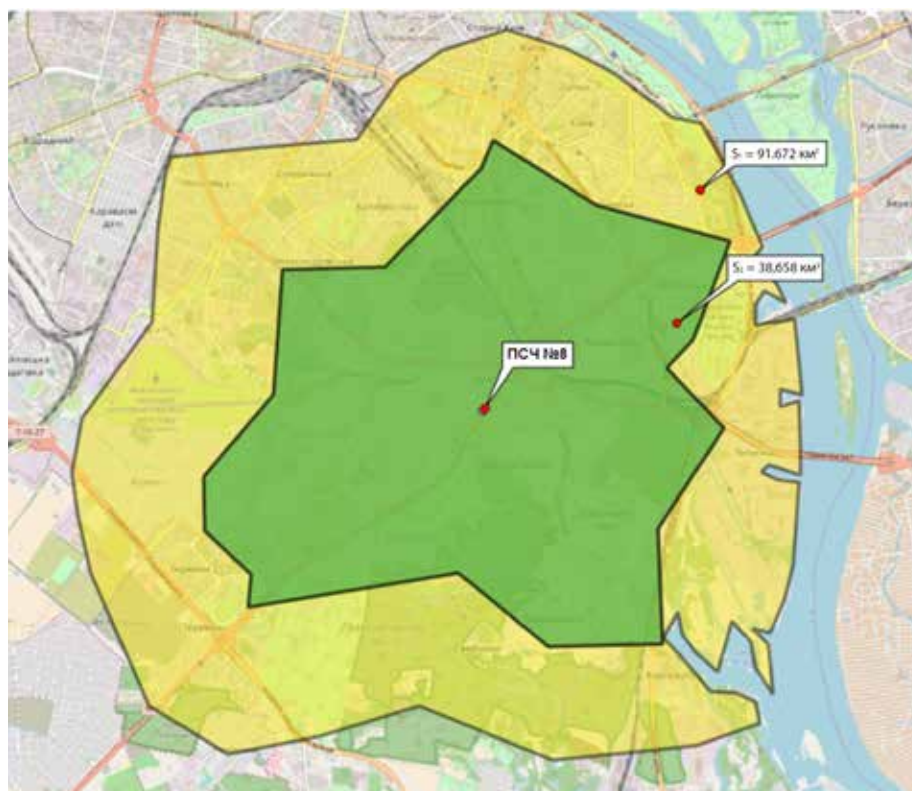


Рисунок 2. Схематическое изображение района выезда ПСП, осуществленное по временному критерию [11]

Figure 2. A schematic view of a region where fire and rescue entities leave their stations, according to the time criterion [11]

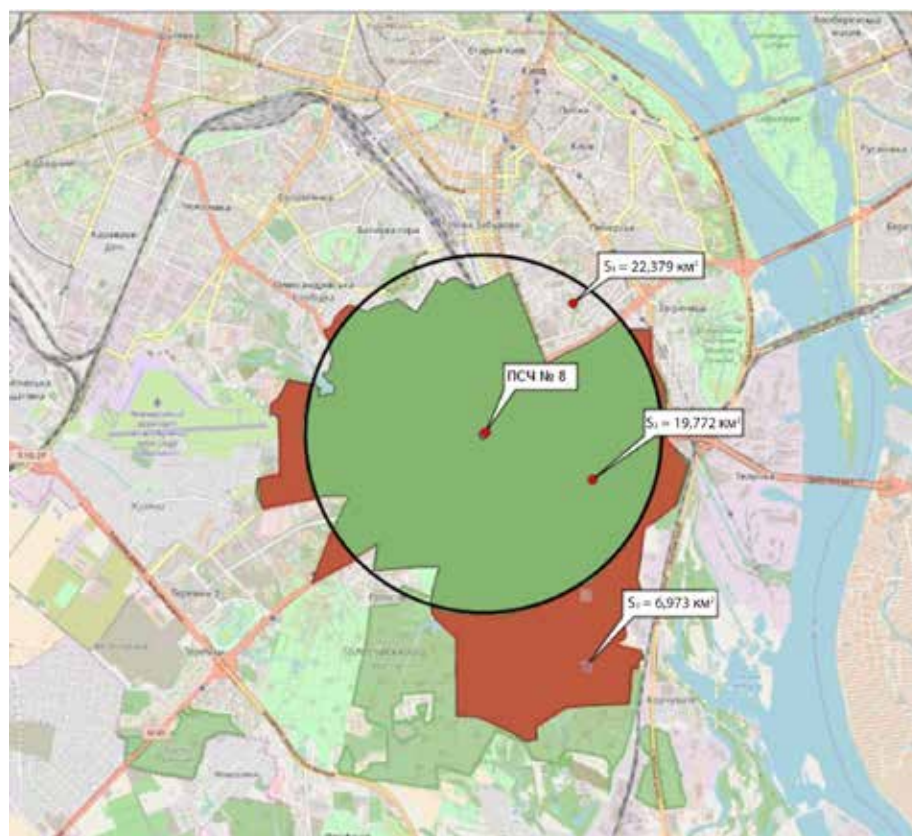


Рисунок 3. Схематическое изображение района выезда ПСП, осуществленное по пространственному критерию [11]

Figure 3. A schematic view of a region where fire and rescue entities leave their units, according to the territory criterion [11]

Приоритетом при определении мест дислокации ПСЧ и определении районов выезда новых ПСП в населенном пункте является размещение ПСП в зонах досягаемости расстояний, а районы выездов смежных ПСП в населенном пункте должны иметь зоны пересечения доступных расстояний. При этом расширение районов выездов ПСП возможно за счет присоединения зон ограниченного расстояния исключительно при условии отсутствия в зоне ограниченного расстояния жилых и общественных зданий.

При определении дислокации ПСЧ в населенном пункте введен параметр ограничения района выезда ПСП имеющимися железнодорожными путями, оборудованными переездами I, II, III категории, и водными объектами с имеющимися раздвижными мостами или паромными переправами.

С целью реализации положений [29] нормативной базы Украины введено требование к химически опасным предприятиям. Так, в случае размещения в пределах населенных пунктов химически опасных промышленных объектов, производственная деятельность которых подпадает под

перечень установленный приложением А [12], а уровень техногенной опасности подпадает под критерии приложения Б [12], на территории таких предприятий должны быть размещены объектовые ПСЧ, а район выезда таких ПСП должна соответствовать нормам [11].

Окончательным этапом применения временного критерия является обработка полученных исходных данных методами программно-аппаратного моделирования с использованием GIS технологий, согласно которой определяют оптимальное количество ПСЧ, что обеспечивает нормированное время прибытия ПСП на всей территории населенного пункта.

В качестве основного программно-аппаратного комплекса предложена кроссплатформенная геоинформационная система QGIS (Quantum GIS). Расчеты проводились с использованием встроенных плагинов и приложений программы, которые позволяли определять точные координаты мест расположения ПСП и маршруты движения пожарных автомобилей.

Выводы

В Украине нормативно урегулированы и могут быть использованы "старый" и "новый" подходы определения мест дислокации пожарно-спасательных подразделений, основанные, соответственно, на реализации механизмов пространственного и временного критериев.

Нормативное регулирование, предоставляющие возможность использования в Украине двух методов, является переходным этапом пред внедрением методов дислокации на основе уточненных расчетных моделей.

Перечень аббревиатур

ПА – пожарный автомобиль;
ПСП – пожарно-спасательное подразделение;
ПСЧ – пожарно-спасательная часть;

ГУ (У) ГСЧС Украины – Главное управление (Управление) Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям;
FD – пожарно-спасательная часть.

Literatura / Literature

- [1] Mistobuduvannya. Planuvannya i zabudova mis'kykh i sil's'kykh poselen', DBN 360-92, Derzhbud Ukrainy, Kiev, 2002, 107.
- [2] SNiP II-89-80* General'nyye plany promyshlennykh predpriyatiy, 01. HP TsPP 1994, 63, <http://docs.cntd.ru/document/5200094>.
- [3] DBN B.2.4-1-94 Planuvannya i zabudova sil's'kykh poselen', Minbudarkhitektury Ukrainy, Kiev 1994, 99.
- [4] DBN B.2.4-3-95 Heneral'ni plany sil's'kohospodars'kykh pidpryemstv. Derzhkommistobuduvannya Ukrainy, Ukrarkhbudininform, Kiev 1995, 56.
- [5] Normali planuval'nykh elementiv zhytlovykh ta hromads'kykh budivel', NP 9.2.85, Mis'ki pozhezhni depo, Minsk 1986.
- [6] Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy № 874 Pro zatverdzhennya kryteriyiv utvorennia derzhavnykh pozhezhno-ryatuval'nykh pidrozdiliv (chastyn) Operativno-ryatuval'noyi sluzhby tsyvil'noho zakhystu v administratyvno-terytorial'nykh odynitsyakh ta pereliku sub'yektiv hospodaryuvannya, de utvoryuyut'sya taki pidrozdily (chastyny), 27.11.2013 [elektronnyy resurs] <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-p>.
- [7] Borys O.P., Vstanovlennya kontseptual'nykh osnov rozvytku systemy pozhezhnoho sposterihannya v Ukraini, „Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka” 2016, 1(1), 16–21.
- [8] Teslenko O.M., Dotsenko O.H., Savchenko O.V., Veresenko O.V., Borysova A.S., Dosvid otsynuyuvannya diy pidrozdiliv operativno ryatuval'noyi sluzhby tsyvil'noho zakhystu pid chas reahuvannya na nebezpechni podiyi, „Nadzvychnayna sytuatsiya. Bezpeka ta zakhyst. Naukovyy visnyk ChIPB NUTsZU” 2017, 1.
- [9] Borys O., Review of Fire Statistics Data in Ukraine, BiTP Vol. 47 Issue 3, 2017, pp. 62–67, doi: 10.12845/bitp.47.3.2017.4.
- [10] Borys O.P., Nizhnyk V.V., Zhykharyev O.P., Krykun O.M., Rozroblennya poriadku otsynuyuvannya diy pidrozdiliv operativno-ryatuval'noyi

- sluzhby tsyvil'noho zakhystu pid chas reahuvannya na nebezpechni podiyi*, „Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka” 2017, 2(4), 55–59.
- [11] Zvit pro naukovo-doslidnu robotu Provesty doslidzhennya ta obgruntuvaty kryteriyi komplektatsiyi pozhezhnymy avtomobilyamy pozhezhno-ryatuval'nykh pidrozdiliv ta rozrobyty vymohy z proektuvannya pozhezhno-ryatuval'nykh chastyn, UkrNDITsZ, Kiev 2017, 539.
- [12] DBN B.2.2-12:2018 Planuvannya i zabudova terytoriy, Minrehion Ukrainy, Kiev 2018, 179.
- [13] DSTU 8767:2018 Pozhezhno-ryatuval'ni chastyny. Vymohy do dyslokatsiyi ta rayonu vyizdu, komplektuvannya pozhezhnymy avtomobilyamy ta proektuvannya, DP UkrNDNTs, Kiev, 64.
- [14] Federal'nyy Zakon No. 123-FZ ot 22.07.2008 Tekhnicheskyy reglament o trebovaniyakh pozharnoy bezopasnosti [elektronniy resurs] <https://dwg.ru/dnl/12886>.
- [15] Metodicheskiye rekomendatsii po opredeleniyu mest razmeshcheniya podrazdeleniy pozharnoy okhrany v naselennykh punktakh v tselyakh dovedeniya vremeni pribytiya pervogo podrazdeleniya pozharnoy okhrany do normativnykh znacheniy, Glavnyy Gosudarstvennyy inspektor Rossiyskoy Federatsii po pozharnomu nadzoru 30 dekabrya 2009, No. 2-4-60-14-18. Moskva 2009, 25.
- [16] SP 11.13130.2009 Svod pravil. Mesta dislokatsii podrazdeleniy pozharnoy okhrany. Poryadok i metodika opredeleniya, [elektronniy resurs] <http://gochs.info/download/sp-11.13130.2009.pdf>.
- [17] NPB 64-2002* Normy pozharnoy bezopasnosti Respubliki Belarus'. Poryadok opredeleniya neobkhodimogo kolichestva sil i sredstv dlya obespecheniya funktsionirovaniya podrazdeleniy, osushchestvlyayushchikh preduprezhdeniye i tusheniye pozharov v organizatsiyakh, [elektronniy resurs], http://mchs.gov.by/_modules/_cfiles/files/NPB_64-2002.pdf.
- [18] SNB 2.02.04-03 Protivopozharnaya zashchita naselennykh punktov i terytoriy predpriyatiy, [elektronniy resurs], <https://dwg.ru/dnl/9348>.
- [19] Matyushin A.V., Poroshin A.A., Matyushin Yu.A., Zarubezhnyy opyt obosnovaniya mest dislokatsii operativnykh podrazdeleniy pozharnoy okhrany, „Pozharnaya bezopasnost” 2005, 2, 74–82.
- [20] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej (tj. Dz.U 2018.0.1313).
- [21] Munitsypalitet Finnentrop. Plan potreb v protypozhezhnomu zakhysti. Am Markt 1, 57413 Finnentrop, 2014, 81 s.
- [22] O nekotorykh problemakh, svyazannykh s normirovaniya pozharnykh avtomobiley i pozharnykh depo, „Pozharovzryvobezopasnost” 2004, 4, 76.
- [23] NPB 101-95 Normi proektirovaniya ob'yektov pozharnoy okhrany, http://gostbank.metaltorg.ru/data/norms_new/npb/12.pdf.
- [24] NPB 201-96 Normy pozharnoy bezopasnosti. Pozharnaya okhrana predpriyatiy. Obshchiye trebovaniya, <http://www.gostrf.com/normadata/1/4294851/4294851766.pdf>.
- [25] DSTU EN 1846-1:2017 Protypozhezhna tekhnika. Pozhezhno ryatuval'ni avtomobili. Chastyna 1. Nomenklatura i poznachennya (EN 1846-1:2011, IDT), DP UkrNDNTs, Kiev, 10.
- [26] DSTU HOST ISO 5725-2:2005 Tochnist' (pravyl'nist' i pretsyziynist') metodiv ta rezul'tativ vymiryuvannya. Chastyna 2. Osnovnyy metod vyznachennya povtoryuvanosti i vidtvoryuvanosti standartnoho metodu vymiryuvannya (HOST ISO 5725-2:2003, IDT), Derzhspozhyvstandart Ukrainy, Kiev 2006, 61.
- [27] Orlov YU.N., *Optimal'noye razbiyeniye gistogrammy dlya otsenivaniya vyborochnoy plotnosti funktsii raspredeleniya nestatsionarnogo vremennogo ryada*, „Priprinty IMP im. M.V. Keldysha” 2013, 14, 26.
- [28] Zakon Ukrainy Pro ekstrenu medychnu dopomohu No. 5081-VI, Vidomosti Verkhovnoyi Rady (VVR), 2013, 30, 340.
- [29] Kryminal'nyy kodeks Ukrainy No. 2341-III, Vidomosti Verkhovnoyi Rady Ukrainy (VVR), 2001, 25–26, 131.
- [30] Directive 2012/18/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on the control of major-accident hazards involving dangerous substances, amending and subsequently repealing Council Directive 96/82/EC Text with EEA relevance (Official Journal of the European Union, L 197, 24 July 2012).

БОРИС АЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ – полковник службы гражданской защиты, заместитель начальника Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты. Сфера

научных интересов: организация деятельности пожарной охраны, техническое регулирование в сфере гражданской защиты, огнезащита зданий, противопожарная техника и снаряжение.

Oleksandr Lazarenko, Ph.D., Associate Prof.^{a)}, Vasyl Loik, Ph.D.^{a)},
Bohdan Shtain, Ph.D., Associate Prof.^{a)}, Dorota Riegert, Ph.D.^{b)*}

^{a)}Lviv State University of Life Safety

^{b)}Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute

*Corresponding author: driegert@cnbop.pl

Badanie zagrożenia wystąpienia pożaru ogniw akumulatorów stosowanych w samochodach elektrycznych

Research on the Fire Hazards of Cells in Electric Car Batteries

Исследования пожарной опасности элементов питания аккумуляторных батарей электромобилей

ABSTRACT

Aim: To carry out an analysis of the latest research in the field of fire hazard lithium-ion cells, which are used in accumulator batteries of electric cars. Proceeding from the obtained results of the research, to determine the direction of the subsequent research in the field of fire safety of lithium-ion accumulator batteries of electric cars.

Methods: This work is based on the fundamental research of scientists from the US, China and other countries of the world, the results of which were presented in a variety of world scientific journals, conferences and national reports.

Results: An analysis of literature sources has shown that research in the field of fire safety of lithium-ion batteries is carried out all around the world, as this technical device is constantly being modified and improved, as dictated by today's realities.

The obtained research results show that the elementary lithium-ion cell contributes during combustion to the production of 6 to 10 kW of energy and a rather large number of dangerous combustion products, especially HF, POF₃. Also, the results of the studies show unambiguously that the amount of energy released by lithium-ion cells supply as well as the amount of hazardous combustion products will depend on the degree of their charge. Furthermore, the shown research results unequivocally confirm that the amount of energy released by the lithium-ion battery depends on the degree of its charge. Based on the results of full-scale experiments, the average amount of water necessary to extinguish the battery of an electric car varies from 2500 to 6000 litres, which can exceed the amount of water carried by a single fire truck.

The amount of thermal radiation at a distance of 1.5 meters from the model of a burning car with decor elements, is between 8.1 and 11.9 kW/m². Laboratory analysis of samples of water, used to extinguish a car, showed the presence of hydrogen chloride (HCl) and hydrogen fluoride (HF) in concentrations 2–3 times higher and more than 100 times higher, than normal registered levels, respectively. No other corrosive or toxic compounds were found in the water samples.

Conclusions: Subsequent work to investigate the fire safety of electric car accumulators and their supply elements can be devoted to conducting full-scale experiments on the extinguishing of real consumer electric cars. Followed by an assessment of the problems of access to batteries and the difficulty of their extinguishing, the risk of electric shock from the battery of an electric car and the possibility of using various extinguishing media should be explored. It is also very urgent to develop a mathematical model for the heating of a lithium-ion battery that takes into account the geometric shape of the element and its chemical composition.

Keywords: lithium-ion battery, electric car battery, electric car fire hazard, extinguishing of electric car

Type of article: review article

Received: 17.05.2018; Reviewed: 16.10.2018; Accepted: 20.12.2018;

Percentage contribution: O. Lazarenko – 40%; V. Loik – 20%; B. Shtain – 20%; D. Riegert – 20%;

Authors' ORCID IDs: O. Lazarenko – 0000-0003-0500-0598; V. Loik – 0000-0002-3772-1640; B. Shtain – 0000-0002-2580-406X;

D. Riegert – 0000-0001-8003-8452;

Please cite as: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 108–117, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.7>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Провести анализ последних исследований в области пожарной опасности литий-ионных элементов питания, которые используются в аккумуляторных батареях электрокаров. Исходя из полученных результатов исследований определить направления последующих исследований в области пожарной безопасности литий-ионных элементов питания и аккумуляторных батарей электрокаров.

Metody: Данная работа основывалась на фундаментальных исследованиях ученых США, Китая и других стран мира, результаты которых были представлены в разнообразных мировых научных журналах, конференциях и национальных докладах.

Результаты: Проведенный анализ литературных источников показал, что исследования в области пожарной безопасности литий-ионных элементов питания проводятся по всему миру, поскольку данное техническое приспособление постоянно модифицируется и усовершенствуется, что по большей мере продиктовано сегодняшними реалиями.

Полученные результаты исследований показывают, что элементарный литий-ионный элемент питания во время горения способен продуцировать от 6 до 10 кВт энергии и довольно большое количество опасных продуктов горения, особенно HF, POF_3 . Также показанные результаты исследований однозначно подтверждают, что количество выделяемой энергии литий-ионным элементом питания напрямую зависит от степени его заряда.

Исходя из результатов полномасштабных экспериментов среднее количество воды необходимое для тушения аккумуляторной батареи электрокара колеблется от 2500 до 6000 л, что может превышать объем вывозимой воды одним пожарным автомобилем.

Величина теплового излучения на расстоянии 1,5 метров от макета горящего автомобиля с элементами декора составляет от 8,1 до 11,9 кВт/м². Лабораторный анализ образцов воды, которой осуществлялось тушение автомобиля, показал наличие хлорида (HCl) и фторида (HF), в концентрации в 2–3 раза выше нормальных регистрируемых уровней и более чем в 100 раз выше, соответственно. Никаких других коррозионных или токсичных соединений в образцах воды не обнаружено.

Выводы: Последующие работы по исследованию пожарной безопасности аккумуляторных батарей электрокаров и элементов их питания могут быть посвящены проведению полномасштабных экспериментов пожаротушения реальных потребительских электрокаров с последующей оценкой проблем доступа к аккумуляторным батареям и сложности их тушения водой, опасности поражения личного состава электрическим током от аккумуляторной батареи электрокара, эффективности тушения аккумуляторных батарей с использованием различных огнетушащих средств. Также весьма актуальной остается задача разработки математической модели процесса нагрева литий-ионного элемента питания которая учитывала бы геометрическую форму элемента питания и его химический состав.

Ключевые слова: литий-ионный элемент питания, аккумуляторная батарея электрокара, пожарная опасность электрокара, тушение электрокара

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 17.05.2018; Рецензирована: 16.10.2018; Одобрена: 20.12.2018;

Процентное соотношение вклада в создание статьи: O. Lazarenko – 40%; V. Loik – 20%; B. Shtain – 20%; D. Riegert – 20%;

Идентификаторы ORCID авторов: O. Lazarenko – 0000-0003-0500-0598, V. Loik – 0000-0002-3772-1640, B. Shtain – 0000-0002-2580-406X,

D. Riegert – 0000-0001-8003-8452;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 108–117, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.7>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

ABSTRAKT

Cel: Wykonano analizę najnowszych badań w zakresie zagrożenia pożarowego, jakie mogą powodować akumulatory litowo-jonowe stosowane do zasilania samochodów elektrycznych. Na podstawie uzyskanych wyników badań ustalono kierunek dalszych badań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego akumulatorów litowo-jonowych i samochodowych.

Metody: Praca została oparta na analizie badań naukowców m.in. z USA i Chin, których wyniki zostały przedstawione w różnych czasopiśmie naukowych o zasięgu międzynarodowym, a także w materiałach konferencyjnych o zasięgu krajowym.

Wyniki: Analiza literatury wskazuje, że badania w zakresie bezpieczeństwa pożarowego akumulatorów litowo-jonowych prowadzone są na całym świecie, co jest podyktowane ciągłym rozwojem tego typu urządzeń. Uzyskane wyniki badań wskazują, że pojedyncza bateria litowo-jonowa może wytworzyć od 6 do 10 kW energii i dużą ilość niebezpiecznych produktów spalania, zwłaszcza HF, POF_3 . Ponadto przedstawione wyniki badań jednoznacznie potwierdzają, że ilość energii uwalnianej przez baterię litowo-jonową zależy bezpośrednio od stopnia jej naładowania. Opierając się na wynikach badań w pełnej skali, średnia ilość wody potrzebnej do ugaszenia palącej się baterii samochodu elektrycznego waha się od 2500 do 6000 litrów. Tak duże zapotrzebowanie w wodę może powodować, że do ugaszenia takiego pożaru nie wystarczy tylko jeden pojazd pożarniczy. Ilość promieniowania cieplnego w odległości półtora metra od modelu płonącego samochodu z elementami wykończeniowymi waha się od 8,1 do 11,8 kW/m². Badania laboratoryjne wody użytej do gaszenia samochodu wykazały obecność w niej chlorowodoru (HCl) oraz fluorowodoru (HF) w stężeniach odpowiednio dwu- trzykrotnie oraz stokrotnie wyższych niż normalne. W próbkach wody nie znaleziono żadnych innych substancji toksycznych lub korozyjnych.

Wnioski: Konieczne jest prowadzenie dalszych prac koncentrujących się na bezpieczeństwie pożarowym w odniesieniu do baterii akumulatorowych pojazdów elektrycznych. Z wykonanej analizy tematu wynika, że istnieje konieczność prowadzenia badań w makroskali w celu określenia najlepszych sposobów gaszenia pożarów baterii akumulatorowych pojazdów elektrycznych. Dodatkowo niezbędne jest przeprowadzenie analizy możliwych do wystąpienia zagrożeń oraz opracowanie optymalnego sposobu gaszenia, a także określenie najskuteczniejszego środka gaśniczego, który może zostać do tego celu użyty. Istotne jest również opracowanie modelu matematycznego akumulatorów litowo-jonowych, który uwzględniać powinien kształt geometryczny baterii akumulatorowej oraz jej skład chemiczny.

Słowa kluczowe: bateria litowo-jonowa, akumulator samochodu elektrycznego, zagrożenie pożarowe samochodu elektrycznego, gaszenie pojazdów elektrycznych

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 17.05.2018; Zrecenzowany: 15.10.2018; Zatwierdzony: 20.12.2018;

Procentowy wkład merytoryczny: O. Lazarenko – 40%; V. Loik – 20%; B. Shtain – 20%; D. Riegert – 20%;

Identyfikatory ORCID autorów: O. Lazarenko – 0000-0003-0500-0598; V. Loik – 0000-0002-3772-1640, B. Shtain – 0000-0002-2580-406X;

D. Riegert – 0000-0001-8003-8452;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 108–117, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.7>;

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

Introduction

The development of modern technologies provides great advantages to humanity, even across a short time span of 10 to 20 years, and, as a rule, is intended to foster the improvement and prosperity of our world. However, very often novelties of technical progress fail, especially at their initial stages of operation, which may entail a series of problems and dangers threatening the appropriate handling of emergencies.

Recently, humankind has begun to explore the possibility of harnessing alternative sources of energy that could replace hydrocarbon fuels. One of such striking examples is the rapid growth and development of electric and hybrid electric vehicles, which in the near future will replace cars powered by in-

ternal combustion engines [1]. Simultaneously with the advent of new technologies, the threats and dangers to which emergency rescue units should respond are growing in number as well. Electric vehicles represent a similar danger today. Constant changes in the configuration of the placement of batteries in cars as well as the chemical composition of batteries and their capacity determine the specifics of firefighting tactics and emergency rescue operations in electric vehicles [2, 3]. The safety of firefighters and other emergency services depends on the understanding and proper management of these hazards through appropriate training and learning.

Formulation of the problem

Considering the modern design of the electric vehicle, and based on research [4], it can be argued that the main danger both in terms of fire safety and safety of the rescue works, in this mode of transport, stems from high-capacity batteries (about 24 to 85 kW/hours and more, depending on the model of the car).

The main manufacturers of electric cars (Nissan, Tesla, Mitsubishi, Ford, etc.), in the design of accumulator batteries use lithium-ion power supply elements which differ only in the type of elements (Fig. 1.) and their distribution in the accumulator battery itself.

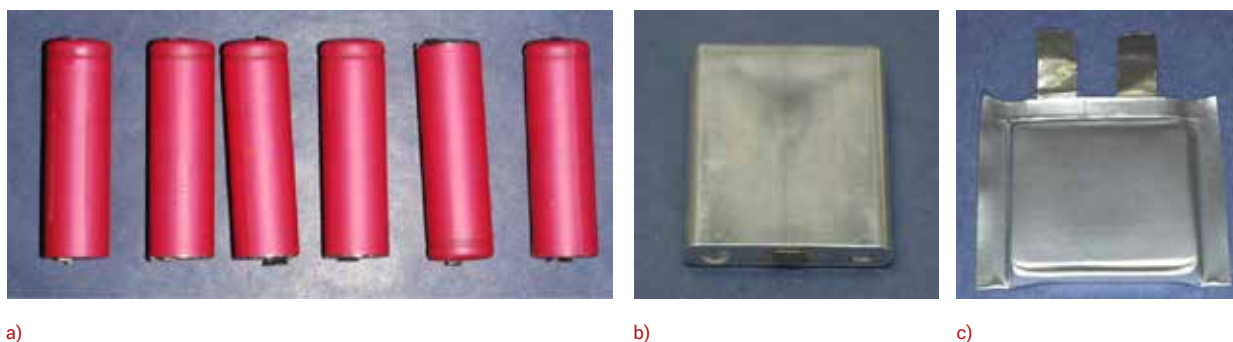


Figure 1. Example of power supply elements in accumulator batteries of electric cars [4]: a) Example of 18650 cylindrical cells (18 x 65 mm); b) Example of a hard case prismatic cell; c) Example of a soft-pouch polymer cell

In this case, it is worth mentioning that the most common batteries today are the cylindrical batteries (Fig. 1a) found, in particular, in Tesla's electric cars, and the soft-pouch polymer cells (Fig. 1c) which are widely used by other automakers such as Nissan. To obtain the required capacity of the electric car battery and protect the battery from mechanical damage, the battery cells are placed in metal blocks. For example, the Nissan Leaf battery consists of 48 aluminium blocks (each has four packaged polymer batteries), and in the Tesla Model S, there are 16 blocks (444 elements of the 18650 type are installed in each) [5]. Lithium-ion batteries have a number of advantages, including long service life and the ability to quickly charge. However, there are a number of drawbacks too that carry a potential hazards risk both to the vehicle as well as to people.

Since the electrolyte located in the middle of the cell is combustible, it can cause an irreversible thermal reaction, which subsequently leads to the release of flammable and toxic gases, and in some cases, the explosion of the battery [6, 9–15]. An irreversible thermal reaction can occur in the event of a disturbance to the battery's stable mode of work and other reasons can cause the following:

1. Short circuit;
2. Overheating;
3. Overcharge;
4. Mechanical damage.

Accordingly, with the foregoing, the purpose of this paper is to analyze the current scientific results in the field of fire safety with respect to power supply elements in accumulator batteries of electric cars.

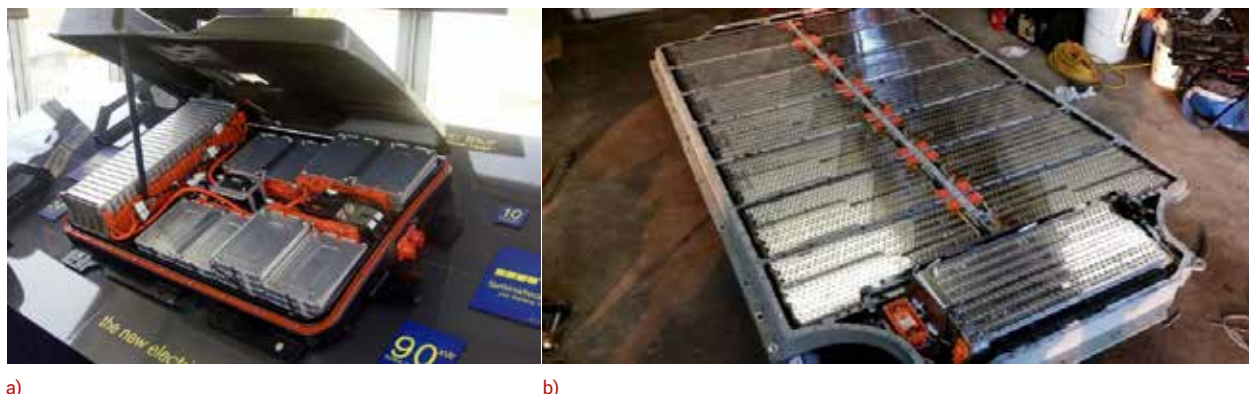


Figure 2. Example of the distribution of power supply elements in accumulator batteries of electric cars of different manufacturers [5]:

a) accumulator battery of Nissan Leaf; b) accumulator battery of Tesla Model S

Main scientific results

In order for the lithium-ion battery to become a source of ignition, three components must be present: oxygen, ignition source and fuel.

Work [6] offers a detailed description of the process during which, with temperatures of 170°C and 74°C, a positive electrode $\text{Li}_{0.5}\text{CoO}_2$ and a negative electrode $\text{Li}_{0.86}\text{C}_6$, respectively, decompose and release oxygen products and a large amount of exothermic heat which are then contributed to the combustion triangle.

Additionally, on the basis of the theory by Semenov [7, 8], it was calculated by the authors that when the temperature of the cell is raised above 65.5°C, there is an acceleration of the occurrence of thermochemical reactions which can lead to an irreversible ignition process. Reaching the temperature of 75°C marks a point of no return, after which the subsequent ignition of the battery follows. The general process of ignition and the resulting “domino effect” chain reaction forms a sequence which, according to the authors, could be described as shown in Fig. 3.

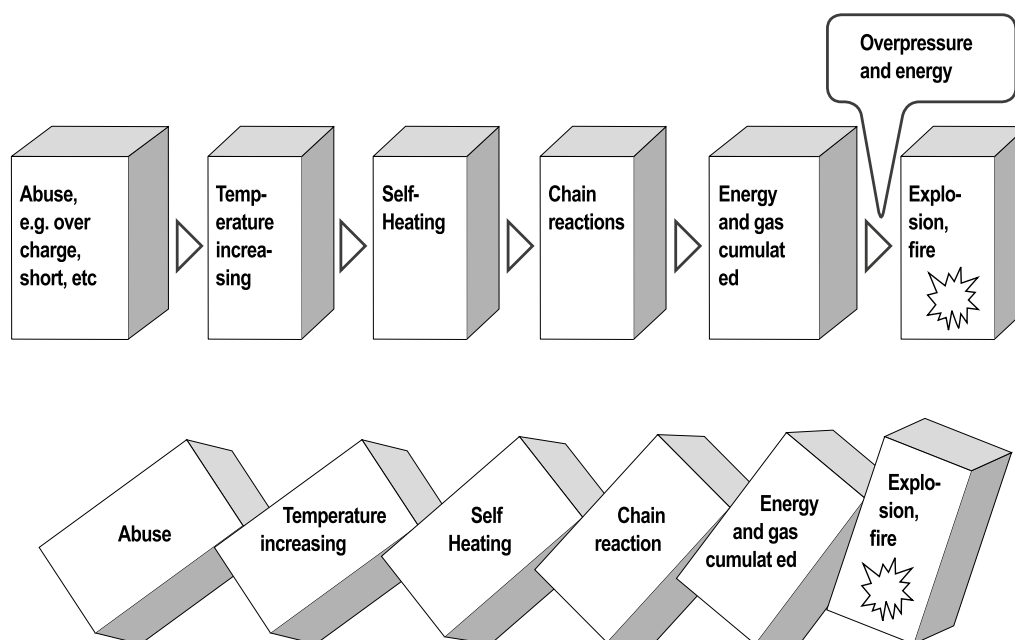


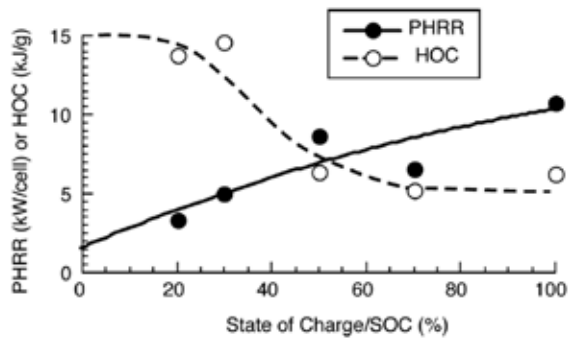
Figure 3. Domino effect of lithium ion battery fire and explosion [5]

As the thermochemical reaction progresses, a significant amount of thermal energy and hazardous combustion products are released from the lithium-ion power element. These quantities were studied and measured in detail in the following research papers [9–16].

The authors of [9] investigated the order of nine different supply elements among which special attention was paid to cylindrical cells 18650 and soft-pouch polymer cells. The experiment was conducted with the use of submitted power elements, in order to determine the amount of released energy.

RESEARCH AND DEVELOPMENT

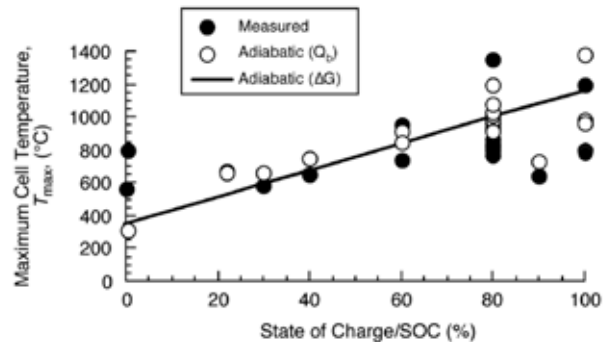
For this, a calorimeter was used operating on the principle of oxygen consumption. In these tests, the batteries were exposed to a radiant heat flux from 10 to 75 kW/m². Batteries with a different state of charge from 20 to 100% were tested, which also influenced the results of the research.



a)

As a result of the studies, the following data were obtained for the 18650 batteries (Fig. 4).

The results of studies for soft-pouch polymer cell were obtained only at a charge value of 50%, where the average value of the HRR was 6.1 kW.

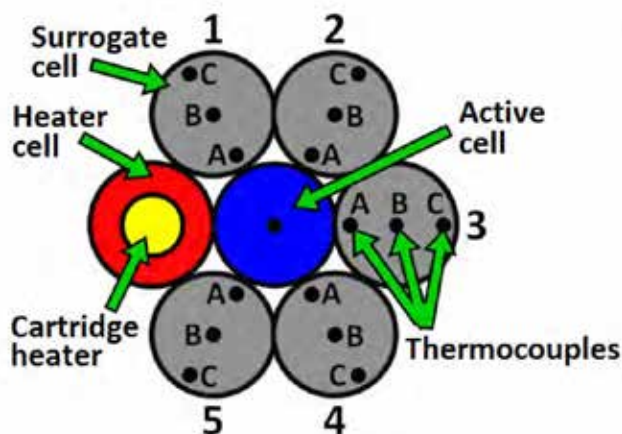


b)

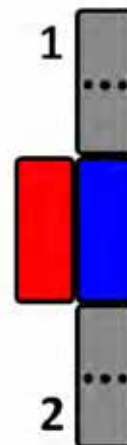
Figure 4. Results of studies to determine the dangers of the 18650 lithium-ion batteries [9]: a) The HOC and PHRR vs. SOC for a lithium-ion 18650 at a heat flux of 50 kW/m²; b) Maximum surface temperatures of 18650 lithium-ion cell at failure vs. SOC

As part of the studies [10], a number of experiments were carried out to determine the temperature of the 18650 type batteries, depending on the SOC and the type of power elements. For experiments, two options for stacking the batteries were chosen – vertical and horizontal (Fig. 5). In each of

the stacking options, a single cell was placed and heated by being connected to an electrical transformer, and this served as a heat source for another active cell. The rest of the batteries were just an imitation, but at the same time, they were the closest thing to an active cell with built-in thermal sensors.



a)



b)

Figure 4. Results of studies to determine the dangers of the 18650 lithium-ion batteries [9]:

a) horizontal or hexagonal;

b) vertically

As mentioned, the experiment was also carried out at a different SOC of the active cell: 30%, 100% and more than 100%. The following results were obtained (Table 1:

where: $T_{active}^{surface}$ – the surface temperature of the active cell, $T_{adj. cell}^{av.}$ – the average temperature of the adjacent imitation cells):

Table 1. The results of research, depending on the SOC of the battery and their packing [10]

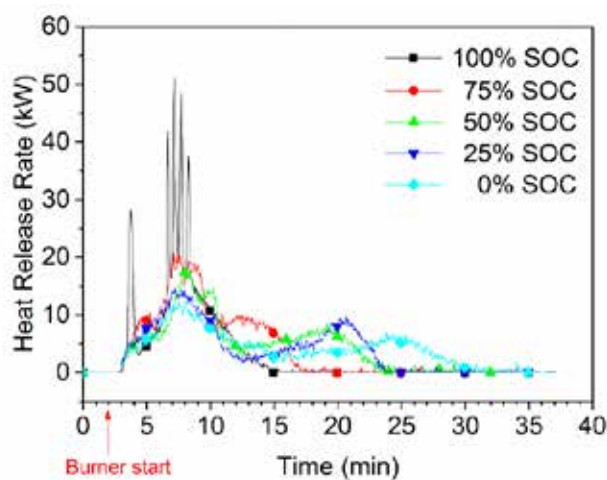
SOC	Horizontal placement of batteries	Vertical placement of batteries
30%	$T_{active}^{surface} = 126^{\circ}\text{C}$ $T_{adj.cell}^{av.} = 148\text{--}236^{\circ}\text{C}$	$T_{active}^{surface} = 127^{\circ}\text{C}$ $T_{adj.cell}^{av.} = 70\text{--}75^{\circ}\text{C}$
100%	$T_{active}^{surface} = 130^{\circ}\text{C}$ $T_{adj.cell}^{av.} = 155\text{--}236^{\circ}\text{C}$ – for elements 2, 3, 4; $T_{adj.cell}^{av.} = 250\text{--}418^{\circ}\text{C}$ – for elements 1, 5;	$T_{active}^{surface} = 129^{\circ}\text{C}$ $T_{adj.cell}^{av.} = 64\text{--}68^{\circ}\text{C}$
>100%	$T_{active}^{surface} = 141^{\circ}\text{C}$ $T_{adj.cell}^{av.} = 114\text{--}259^{\circ}\text{C}$	$T_{active}^{surface} = 107^{\circ}\text{C}$ $T_{active}^{surface} = 805^{\circ}\text{C}$ – maximum temperature; $T_{adj.cell}^{av.} = 91\text{--}109^{\circ}\text{C}$ – for elements 1; $T_{adj.cell}^{av.} = 89\text{--}96^{\circ}\text{C}$ – for elements 2;

It is worth mentioning that when the charge of the active cell was 100% or more, after critical temperatures were reached, abundant spark and gas emission were observed – a signal to finish the experiment.

In addition, worthy of attention is the paper [11] in which the authors carried out a series of experiments, similar to the

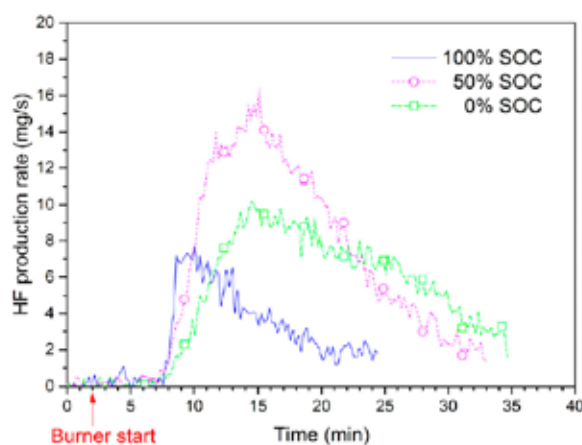
previous work, with several power cells (5 pieces) of the 18650 type. During the experiment, the amount of heat, the type and amount of hazardous gases released during the burning, depending on the state of their charge, were determined.

The results of the experiment showed that the HRR depends directly on the SOC of the battery (Fig. 6).

**Figure 6.** The magnitude of the HRR for the five power elements, depending on their SOC (0–100%) [11]

As mentioned, not only a significant amount of heat, but also substantial amounts of toxic combustion products were released as a result of combustion of lithium-ion batteries, among which the authors [11] isolated hydrogen fluoride (HF)

and phosphorus oxyfluoride (POF3). However, because of the accuracy of equipment, the authors failed to measure the concentration and magnitude of POF3, and the production rate of HF depicted in Fig. 7.

**Figure 7.** The production rate of hydrogen fluoride (HF) for five cells, depending on the SOC (0–100%) during their burning [11]

It is important to note that the rate of HF release is much higher with SOC of a battery at 50%, and at 100% the indices are the lowest.

The results of the research presented above pertain only to separate battery cells, but as mentioned earlier, the accumulator battery of the electric car consists of 192–7000 thousand of such elements (depending on the car brand). During a fire, such a number of battery cells, based on the results presented earlier, should allocate extremely large amounts of energy, and if we consider this type of fire in terms of its suppression tactics, then extinguishing it would require considerable amounts of fire extinguishing agent. As a result of the full-scale fire testing experiment [12, 13], intended to

determine the amount of heat released, during the combustion of a real battery and the tactics of its suppression, we obtained some unique results.

Two types of batteries were used for the experiment. The battery "A" intended for hybrid cars, which contains sealed lithium-ion rechargeable batteries. The accumulator battery with a capacity of 4.4 kWh enclosed in a metal case and rigidly mounting at the bottom of the rear cargo area behind the rear seat (Fig. 8a). The metal case is isolated from high voltage, hidden and separated from the passenger compartment by a moulded plastic cover with carpet covering. The electrolyte used in lithium-ion batteries is a flammable organic electrolyte.



a) Accumulator battery type "A"

b) Accumulator battery type "B"

Figure 8. An example of accumulator batteries for carrying out full-scale fire experiments [12]

The battery "B" intended for electric cars with a capacity of 16 kWh and enclosed in a casing made of fibreglass. The T-shaped form of the battery covers almost the entire length of the vehicle from the rear axle to the front axle and is rigidly mounted under the car's pallet (Fig. 8b).

The first stage of the experiment was aimed to determine the amount of heat released by the battery "B".

The battery was pre-heated by a third-party heat source (propane burners) with a capacity of approximately 400 kW (Fig. 9).

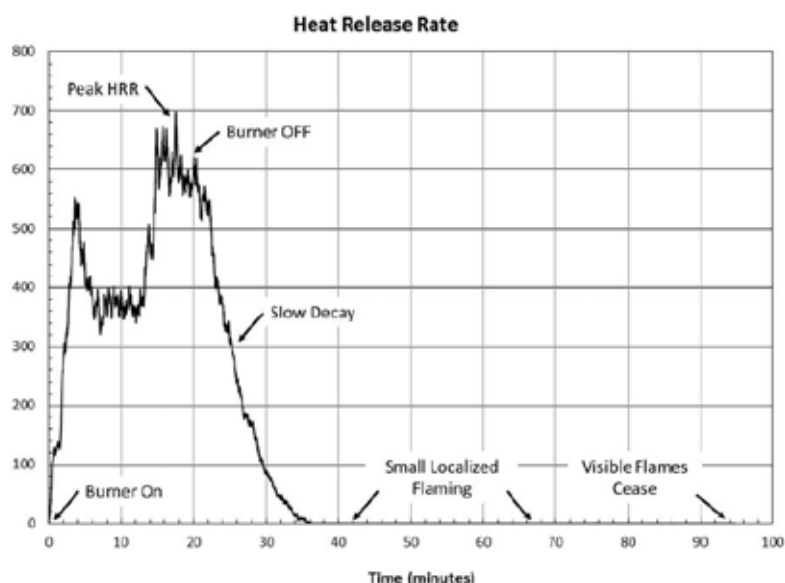


Figure 9. The results of experiments to determine the amount of heat during the combustion of an accumulator battery type "B" [13]

Temperature and heat flux measurements were recorded on the outer and inner sides of the battery, as well as at a distance of 1.5 and 3 meters from the battery. Gas samples were collected for the analysis of toxic or corrosive compounds. The experiment was considered complete after a complete, unassisted burnout of the battery.

The maximum value of the HRR was 300 kW (when the propane burner power was subtracted) with a test time of 17 minutes and 30 seconds, and the case temperature from 684 to 1155°C. The maximum temperature at a distance of 1.5 and 3 meters from the battery was 94–110°C and 41–52°C, respectively. At the same time, the maximum value of thermal radiation at a similar distance was from 17.1 to 18 kW/m² and 3.7 to 4.7 kW/m².

After the burners were switched off, approximately 20 minutes later the values of the thermal radiation gradually decreased. After the 36-minute mark, the flame decreased significantly, and the value of the thermal radiation was practically zero.

Small local fires on the battery continued for about an hour. When the apparent burning stopped, the external maximum temperature of the battery was approximately 400°C. After another three hours, the maximum temperature was about 155°C.

Moreover, during the first stage of the study, fourteen samples of combustion products using Tedlar bags were taken. Sampling was carried out every 5 minutes, starting with 5 minutes of testing. The bags were analyzed for HCl, HF, HBr, HCN, CO₂, CO, NO_x, SO₂, acrolein and formaldehyde content using an infrared Fourier transform spectrometer. The results showed only the presence of CO and CO₂. Each spectrum was directly examined for the presence of HCN and HF, but they were not detected. However, the authors acknowledge the possibility of an error which could have affected the final results.

In the second stage of the research, full-scale studies were carried out in order to determine the amount of time and the extinguishing agent (water) which will be necessary for the suppression of fire in the batteries "A" and "B". At the same time, the conditions for placing the batteries were ensured to be as close as possible to the real ones:

- the battery was placed in the body of the car;
- the battery was additionally covered with a metal protective sheet;
- the interior of the car was additionally fitted with decorative elements.

The results of the tests are presented in Table 2.

Table 2. The total results of the amount of water expended during the extinguishing of the batteries in the car [13]

Battery type / test series	Operation Time [min]	Water flow time [min]	Total water flow [l]	Comments
A1	5.88	2.20	1040	Battery only
A2	36.60	3.53	1673	Battery only
A3	49.67	9.77	4012	Battery + Interior Components
B1	26.52	14.03	6639	Battery only
B2	37.60	21.37	9989	Battery only
B3*	13.88	9.32	4410	Battery + Interior Components

* Suppression times and water flow times influenced by the previous experience of one of the firefighters, who extinguished a fire of the Test B2 battery on the previous day. This firefighter acknowledged that he had gained knowledge on the best and most appropriate way to access the battery below the floor pan during the previous test.

Similarly, with the first stage during the second stage, the value of the thermal radiation was measured at a distance of 1.5 meters and thus amounted to 2.1–3.7 kW/m² (during the burning of one battery) and 8.1–11.9 kW/m² (during the burning of the battery with decor elements).

After the termination of each variant of the extinguishing of storage batteries, water samples for the subsequent analysis for the presence of harmful substances were taken.

Samples of water collected during the tests indicate the presence of chloride and fluoride (probably in the form of HF and hydrogen chloride HCl). However, the chloride concentration in the solution was only 2–3 times higher than the normal detection levels, while the fluoride concentration was more than 100 times higher. No other corrosive or toxic compounds were found in the water samples.

Discussion of the results

The research results achieved to date as regards lithium-ion cells of accumulator batteries give us a clear understanding that this technical device, simultaneously with positive effects, may also pose a substantial danger for people.

The obtained research results show that the elementary lithium-ion cell can produce from 6 to 10 kW of energy and a rather large amount of dangerous combustion products, especially HF, POF₃, during the combustion, although the latter

statement requires further studies. Additionally, the shown research results unequivocally confirm that the amount of energy and hazard gases released by the lithium-ion battery depends directly on the degree of its charge.

Full-scale testing results on the investigation of the tactics of extinguishing electric car batteries revealed some unexpected findings regarding the amount of water necessary to extinguish such a fire. Based on the results of the experiment, the average amount of water needed to extinguish such

ignition varies from 2,500 to 6,000 litres, which may exceed the volume of water taken by one fire truck. Thus, an urgent need emerges to improve the extinguishing tactics of fire-fighting and training personnel.

Due to the continuous development and improvement of technologies, the results presented will differ in respect of new types of batteries [16–18]. Therefore, there will always be a need to conduct additional studies in this direction.

Conclusions

Based on the above research results, it is possible to outline the following topics of work in this direction:

- Conduct a full-scale firefighting test of real consumer electric cars to assess the problems of access to batteries and the complexity of their water consumption levels;
- Carry out a full-scale firefighting test of real consumer electric cars to assess the risk of electric shock to personnel from the electric car battery;
- Carry out full-scale testing of firefighting of real consumer electric cars with batteries of other types, e.g. type 18650;

- Develop alternative versions of fire barrels for the extinguishing of electric car batteries;
- Assess the efficiency of extinguishing the batteries using other extinguishing agents.

It is also very urgent to develop a mathematical model for the heating of a lithium-ion battery that takes into account the geometric shape of the element and its chemical composition. The development of such a mathematical model would later enable the calculations to be made to determine the necessary temperature and heat quantity, without the need to conduct costly experiments or develop a variety of new battery options.

List of acronyms

HOC – Heat of combustion

HRR – Heat release rate

PHRR – Peak heat release rate

SOC – State of charge

Literatura / Literature

- [1] Randall T., *Here is how Electric Cars Will Cause the Next Oil Crisis*, Bloomberg, [electr. doc.] <https://www.bloomberg.com/features/2016-ev-oil-crisis/> [accessed: 25.02.2016].
- [2] Herron D., *Model S Catches Fire in Norway at Supercharger, charging system seemingly at fault, The Long Tail Pipe. Evaluating the full Transportation and Energy life-cycle*, [electr. doc.] <https://longtailpipe.com/2016/01/01/model-s-catches-fire-in-norway-at-supercharger-charging-system-seemingly-at-fault/> [accessed: 01.01.2016].
- [3] Tesla Model S Emergency Response Guide, 2016, [electr. doc.] https://www.tesla.com/sites/default/files/pdfs/first_responders/2016_Models_S_Emergency_Responders_Guide_en.pdf [accessed: 05.04.2018].
- [4] Casey C., Grant P.E., *Fire Fighter Safety and Emergency Response for Electric Drive and Hybrid Electric Vehicles*, Final Report, USA 2010, 135.
- [5] Arcus Ch., *A Tale of 3 Battery Packs*, Cleantechnica, [electr. doc.] <https://cleantechnica.com/2016/01/06/a-tale-of-3-battery-packs/> [accessed: 01.06.2016].
- [6] Wang Q., Sun J., Chu G., *Lithium Ion Battery Fire and Explosion, Fire safety science-proceedings of the eighth international symposium*, 2005, 375–382, doi:10.3801/IAFSS.FSS.8-375.
- [7] Semenov N.N., *Some Problems in Chemical Kinetics and Reactivity*, Princeton University Press, 1959, doi.org/10.1016/c2013-0-05256-5.
- [8] Yu Y.H., Hasegawa K., *Derivation of the Self-accelerating Decomposition Temperature for Self-reactive Substances Using Isothermal Calorimetry*, "Journal of Hazardous Materials" 1996, 45, 193–205, doi.org/10.1016/0304-3894(95)00092-5.
- [9] Quintiere J.G., Crowley S., Walters R.N., Lyon R.E., Blake D., *Fire Hazards of Lithium Batteries*, U.S. Department of Transportation Federal Aviation Administration, 2016, 50.
- [10] Spinner N.S., Hinnant K.M., Tuttle S.G., Rose-Pehrsson S.L., *Lithium-Ion Battery Failure: Effects of State of Charge and Packing Configuration*, Naval Research Laboratory 2016, 21, doi.org/10.21236/ada637422.
- [11] Larsson F., Andersson P., Mellander B-E., *Lithium-Ion Battery Aspects on Fires in Electrified Vehicles on the Basis of Experimental Abuse Tests*, "Batteries" 2016, 2, 13, doi:10.3390/batteries2020009.
- [12] Long R.T. Jr., Blum A.F., Bress T.J., Cotts B.R.T., *Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results*, Fire Protection Research Foundation: Quincy, MA, USA, 2013, 316.
- [13] Long R.T. Jr., Blum A.F., *Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicle Battery Hazards: Full-Scale Testing Results*, International

- Symposium on Fire Investigation Science and Technology, USA 2014, 12.
- [14] Ribière P., Grugeon S., Morcrette M., Boyanov S., Laruelle S., Marlair G., *Investigation on the fire-induced hazards of Li-ion battery cells by fire calorimetry*, "Energy and Environ. Sci." 2012, 5, 5271–5280, doi.org/10.1039/c1ee02218k.
- [15] Fu Y., Lu S., Li K., Liu C., Cheng X., Zhang H., *An experimental study on burning behaviors of 18650 lithium ion batteries using a cone calorimeter*, "Journal Power Sources" 2015, 273, 216–222, doi.org/10.1016/j.jpowsour.2014.09.039.
- [16] Chekannikov A. A., Kuz'mina A. A., Kulova T. L., Novikova S. A., Skundin A. M., Stenina I. A., Yaroslavtsev A. B., *Development of Lithium-Ion Battery of the "Doped Lithium Iron Phosphate–oped Lithium Titanate" System for Power Applications*, in: *Proceedings of the Scientific-Practical Conference Research and Development – 2016*, 2016, 341–350, doi.org/10.1007/978-3-319-62870-7_37.
- [17] Golubkov W., Fuchs D., Wagner J., Wiltsche H.E., Stangl C., Fauler G., Voitic G., Thaler A., Hacker V., *Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes*, "RSC Adv." 2014, 4, 3633–3642, doi.org/10.1039/c3ra45748f.
- [18] Huang P., Wang Q., Li K., Ping P., Sun J., *The combustion behavior of large scale lithium titanate battery*, "Sci. Rep." 2015, 5, doi:10.1038/srep07788.

OLEKSANDR LAZARENKO, PH.D. – Associate Professor at the Department of Fire Tactics and Emergency Rescue Operations of the Lviv State University for Safety of Life. Sphere of scientific interests: development of methods for extinguishing fires at various sites, methods for training firefighters, studying heat and mass transfer processes during a fire and protection against thermal radiation.

VASYL LOIK, PH.D. – Associate Professor at the Department of Fire Tactics and Emergency Rescue Operations of the Lviv State University for Safety of Life. Sphere of scientific interests: development of techniques for emergency rescue operations during the elimination of man-made accidents, development of mathematical models for heat and mass transfer during a fire, development of substances to protect building structures from exposure to high temperatures during a fire.

BOHDAN SHTAIN, PH.D. – completed his doctoral studies in 2012 at the Lviv State University for Safety of Life with a Ph.D. in technical sciences. He worked as a Senior Research Specialist at the Laboratory of Fire Protection Units' Technical Equipment of the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute. Sphere of scientific interests: development of techniques for emergency rescue operations during the elimination of man-made accidents, development of mathematical models for heat and mass transfer during a fire, development of substances to protect building structures from exposure to high temperatures during a fire, personal protective equipment.

DOROTA RIEGERT, PH.D. – completed her doctoral studies in 2012 at the Faculty of Materials Science and Engineering at the Warsaw University of Technology with a Ph.D. in technical sciences. She is the author or co-author of articles published in scientific journals and conference materials as well as the author of papers presented at national and international conferences. From 2012, an employee of the Scientific and Research Center for Fire Protection National Research Institute.

mgr inż. Przemysław Tomasz Suchy^{a)}*, dr inż. Wojciech Węgrzyński^{a)}

^{a)}Instytut Techniki Budowlanej / Building Research Institute

*Autor korespondencyjny / Corresponding author: p.suchy@itb.pl

Ocena wpływu aranżacji garażu na wynik symulacji CFD rozprzestrzeniania się dymu i ciepła

The Influence of the Arrangement of Passenger Cars in Indoor Car Parks on CFD Calculations

Оценка влияния устройства подземного паркинга на результаты CFD-моделирования распространения дыма и тепла

ABSTRAKT

Cel: Celem pracy jest przedstawienie wyników badań dotyczących określenia wpływu rozmieszczenia w przestrzeni garażu pojazdów osobowych w określonych miejscach parkingowych na uzyskane w symulacjach numerycznych CFD wartości parametrów fizycznych, w tym masowej koncentracji dymu oraz pola prędkości przepływu. Aby dokonać rozmieszczenia samochodów w sposób losowy, stworzono program komputerowy wykorzystujący metodę pseudolosowego doboru parametrów i lokalizacji pojazdów.

Projekt i metody: Obliczenia numeryczne wykonane w ANSYS FLUENT v.14.5.

Wyniki: Analiza wyników pozwala stwierdzić, że wielkości wirów dymu i gazów pożarowych oraz prędkości, jakie osiągają po uformowaniu się w obrębie garażu mają istotny wpływ na masową koncentrację dymu w analizowanym obszarze. W obliczeniach zaobserwowano również, że w przypadku scenariuszy uwzględniających taką samą liczbę pojazdów, istotny wpływ na sposób oceny ma fakt, w jakim miejscu zostaje ukształtowana główna struga powietrza dopływająca z szachtu nawiewnego.

Wnioski: W przypadku garaży o skomplikowanym kształcie lub niskich (poniżej 2,9 m) rekomenduje się wykonanie dodatkowych obliczeń numerycznych uwzględniających różną liczbę i rozmieszczenie pojazdów w garażu. Wykonanie dodatkowych symulacji można ograniczyć do przypadków, w których zajętość miejsc parkingowych w garażu będzie wynosiła 0% (jedynie z samochodem, z którego inicjowany jest pożar), 40–50% i 100%. Podane obciążenie stanowisk wynika z przeanalizowanych serii obliczeń, gdy różnice w wynikach były najbardziej zauważalne i istotne w procesie oceny.

Różnice w wynikach pomiędzy scenariuszami będą większe, gdy pożar będzie się rozwijał z większą mocą i w rezultacie wydzieli się więcej dymu i ciepła w przestrzeni garażu. Dlatego istotne jest, by w takim przypadku przed przystąpieniem do obliczeń numerycznych, dokonać oceny ryzyka wpływu zajętości miejsc postojowych na końcowe wyniki. Z przedstawionych w niniejszym opracowaniu symulacji wynika, że już przy pożarach rzędu 1,4 MW w początkowej ich fazie rozwoju istotnie mogą zmieniać się warunki panujące w garażu. W sytuacji, gdy prędkości na kratkach nawiewu mechanicznego wynoszą ponad 2,5 m/s, a w najbliższej okolicy szachtu kompensacyjnego znajdują się zaparkowane pojazdy, wówczas obliczenia numeryczne należałoby wykonać dla pustego garażu, jak również dla scenariusza z samochodami zaparkowanymi w tych niewrażliwych punktach. Uzyskane z takiej serii obliczeń wyniki mogą się znacząco różnić, więc zasadne jest, by w analizach uwzględniać tego rodzaju przypadki.

Słowa kluczowe: wentylacja pożarowa, garaże zamknięte, wentylacja strumieniowa, symulacje CFD

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 10.12.2018; Zrecenzowany: 17.12.2018; Zatwierdzony: 21.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: P. Suchy – 0000-0002-6661-7404; W. Węgrzyński – 0000-0002-7465-0212;

Procentowy wkład merytoryczny: P. Suchy – 70%; W. Węgrzyński – 30%;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 118–139, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.8>;

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

ABSTRACT

Aim: The aim of this study is to present the results of research on the influence of the arrangement of passenger cars in specific parking spaces inside an indoor car park on the numerical values obtained in CFD simulations of physical parameters such as smoke density and air/smoke stream velocity. In order to distribute cars randomly, a computer program was developed using a pseudorandom method to determine the type of vehicle as well as the position of the car in the indoor car park.

Project and methods: CFD calculations in Ansys Fluent 14.5.

Results: On analysis, the results demonstrate that the size of vortices and their velocity after forming inside the indoor car park space have a significant impact on the mass concentration of smoke in the analysed area. In the course of the calculations, it was also observed that in comparing scenarios

with the same number of vehicles, the method of assessment is significantly affected by the location of formation of the main air stream arriving from the air supply duct.

Conclusions: In the case of indoor car parks with a complicated shape or low height, less than 2.9 m, it is recommended to perform additional numerical calculations taking into account different numbers of vehicles and their locations in the indoor car park. Additional simulations can be limited to cases where the occupancy of parking spaces in the indoor car park will be 0% (except for the car being the ignition source), 40-50% and 100%. The provided occupancy rates are based on the analysed calculation series, where the differences in the results were the most noticeable and significant in the assessment process.

Scenario results will vary more if the fire curves initiated at the beginning have higher HRR and as a result more smoke and heat are released within the indoor car park. Therefore, in such cases, it is important to assess the risk of impact of the parking space occupancy rate on the results before proceeding to final numerical calculations. The simulations presented in this study demonstrate that at 1.4MW fires in the initial phase of fire development, the conditions prevailing in the indoor car park can change significantly. In a situation where the velocities on the mechanical ventilation grilles are over 2.5 m/s, and parked vehicles are located in the vicinity of the compensation inlet, it is important to perform numerical calculations for an empty indoor car park as well as for the scenario with cars parked at these crucial points. The results obtained from this series of calculations may vary significantly, so it is reasonable to include such cases in the analyses.

Keywords: CFD simulations, fire ventilation, indoor car park, thrust ventilation

Type of article: original scientific article

Received: 10.12.2018; Reviewed: 17.12.2018; Accepted: 21.12.2018;

Authors' ORCID IDs: P. Suchy – 0000-0002-6661-7404; W. Węgrzyński – 0000-0002-7465-0212;

Percentage contribution: P. Suchy – 70%; W. Węgrzyński – 30%;

Please cite as: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 118–139, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.8>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью данной работы является представление результатов исследований по определению влияния размещения пассажирских транспортных средств на определенных парковочных местах на значения физических параметров CFD для численного моделирования, включая массовую концентрацию дыма и поле скорости потока. Чтобы случайным образом расположить автомобили, была создана компьютерная программа с использованием псевдослучайного метода выбора параметров и местоположения автомобилей.

Проект и методы: Численные расчеты, сделанные в ANSYS FLUENT v.14.5.

Результаты: Анализ результатов позволяет сделать вывод о том, что размер вихрей дыма и дымовых газов, а также скорости, которых они достигают после формирования на подземной парковке, оказывают существенное влияние на массовую концентрацию дыма в анализируемой зоне. В расчетах также было отмечено, что в случае сценариев, учитывающих одинаковое количество транспортных средств, способ формирования основного воздушного потока, поступающего из вентиляционного канала, оказывает существенное влияние на метод оценки.

Выводы: в случае подземных парковок сложной формы или низких (менее 2,9 м) рекомендуется выполнять дополнительные численные расчеты с учетом различного количества и распределения транспортных средств на парковке. Выполнение дополнительного моделирования может быть ограничено случаями, когда занятость парковочных мест в гараже будет равна 0% (только с автомобилем, от которого начался пожар), 40-50% и 100%. Данное размещение на парковке является результатом анализа серии расчетов, когда различия в результатах в процессе оценки были наиболее заметными и значительными.

Различия в результатах между сценариями будут большими, когда огонь будет развиваться с большей мощностью, и в результате на парковке будет выделяться больше дыма и тепла. Поэтому важно, чтобы в таком случае, прежде чем приступить к численным расчетам, была проведена оценка риска влияния занятости парковочных мест на окончательные результаты. Моделирование, представленное в этом исследовании, показывает, что уже при пожарах 1,4 МВт на начальной стадии их развития условия, существующие на парковке, могут значительно измениться. В ситуации, когда скорости на механических вентиляционных решетках превышают 2,5 м / с, а в непосредственной близости от компенсационного канала находятся припаркованные транспортные средства, следует проводить численные расчеты для пустого паркинга, а также для сценария с автомобилями, припаркованными в этих критических точках. Результаты, полученные вследствие такой серии расчетов, могут существенно отличаться, поэтому целесообразно включать в анализ такие случаи.

Ключевые слова: противопожарная вентиляция, закрытые гаражи, струйная вентиляция, CFD-моделирование (газодинамический расчёт)

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 10.12.2018; Рецензирована: 17.12.2018; Одобрена: 21.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: P. Suchy – 0000-0002-6661-7404; W. Węgrzyński – 0000-0002-7465-0212;

Процентное соотношение участия в подготовке статьи: P. Suchy – 70%; W. Węgrzyński – 30%;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 118–139, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.8>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Symulacje numeryczne CFD są obecnie popularnym narzędziem używanym w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego przy projektowaniu i weryfikacji skuteczności działania systemów wentylacji oddymiającej. Wcześniej obliczenia dla takich instalacji opierano jedynie na uproszczonych wyrażeniach matematycznych i modelach analitycznych, które zostały opisane m.in. w [1, 2]. W dobie coraz bardziej zaawansowanych i skomplikowanych pod względem architektury i konstrukcji budynków, możliwości te są niestety mocno ograniczone i niewystarczające do prawidłowego zaprojektowania systemu wentylacji pożarowej. Ze względu na ciągłe udoskonalanie programów komputerowych wykorzystujących obliczeniową mechanikę płynów projektanci coraz chętniej sięgają po to narzędzie, aby zweryfikować prawidłowość zastosowanych rozwiązań technicznych w opracowywanej przez siebie dokumentacji.

Inżynierowie wykonujący obliczenia numeryczne zdają sobie sprawę, że uzyskanie prawidłowych wyników zależy od wiernego odwzorowania w przygotowanym uprzednio modelu numerycznym rzeczywistych warunków panujących w rozpatrywanym obiekcie budowlanym. Do tej pory w symulacjach CFD prowadzonych dla garaży panowało przekonanie, że właściwym scenariuszem są obliczenia dla pustego obiektu – tzn. tylko z jednym lub trzema pojazdami, z których zostaje zainicjowany pożar.

Należy zastanowić się, czy takie podejście jest słuszne. Możliwe, że przeszkoda, jaką stanowi samochód zaparkowany w pobliżu np. szachtu nawiewnego, spowoduje tak istotną zmianę w prędkości strugi powietrza kompensacyjnego, że w wyniku pożaru powstanie inny rozkład masy koncentracji dymu i jego pola prędkości w garażu. W niniejszej pracy podjęto próbę oceny wpływu takich zjawisk na końcowe wyniki symulacji w garażach wyposażonych w system wentylacji strumieniowej.

Analiza literatury. Przyjęta metoda obliczeń i źródła danych

Modelowanie pożarów w garażach

W przedmiotowej literaturze związanej z zagadnieniami dotyczącymi pożarów w garażach zamkniętych można zaobserwować, iż podstawowym celem dociekań naukowych i eksperymentów w tym obszarze jest uzyskanie informacji o parametrach fizycznych takich jak: pole temperatury, ilość generowanej sadzy, szybkość rozwoju pożaru, otrzymywanych na podstawie badań rzeczywistych pożarów różnego rodzaju pojazdów osobowych. W tym obszarze należy przede wszystkim wyróżnić raporty BRE nr BD2552 [3] i EUR 20466 EN [4], a także pracę M.L. Janssens [5]. W pierwszym dokumencie [3] zaprezentowano wyniki badań w skali rzeczywistej dotyczące m.in. pożarów od jednego do czterech pojazdów osobowych. Pożary te inicjowane były w różnych miejscach (np. wewnątrz samochodu, pod maską) oraz pod wpływem promieniowania cieplnego. Dzięki tym eksperymentom uzyskano dane dotyczące krzywych pożaru oraz maksymalnych temperatur zarejestrowanych

Introduction

CFD numerical simulations are currently a popular tool used in fire safety engineering to design and verify the effectiveness of smoke exhaust ventilation systems. Previously, calculations for such systems were based only on simplified mathematical expressions and analytical models described, i.a., in [1, 2]. In a time of increasingly advanced buildings of ever higher architectural and structural complexity, these capabilities are unfortunately severely limited and insufficient to correctly design a fire ventilation system. With the continuous development of software suites using fluid mechanics computations, designers increasingly often use this tool to verify the suitability of the technical solutions used in their documentation.

Engineers performing numerical calculations are aware that obtaining correct results is conditional on the faithful representation within a pre-developed numerical model of the real conditions present in the analysed civil structure. To date, CFD simulations performed for indoor car parks were influenced by the belief that the suitable scenario for calculations involves the empty structure, i.e. featuring no more than one to three vehicles representing the ignition source.

The suitability of this approach should be reconsidered. It is possible that the obstacle created by a car parked near, e.g. an air supply duct, causes such a significant change in the speed of the compensation air stream that a different distribution of the mass concentration of smoke and its velocity field inside the indoor car park can result. This paper attempts to assess the influence of such phenomena on the final simulation results in indoor car parks equipped with a jet ventilation system.

Literature Review. The Adopted Calculation Method and Data Sources

Modelling fires in indoor car parks

It can be observed that the literature on the subject of fires in indoor car parks primarily focuses its scientific studies and experiments on obtaining information regarding such physical parameters as the temperature field, the amount of soot generated and the speed of fire development, obtained on the basis of real fires of various types of passenger vehicles. In this respect, BRE reports No. BD2552 [3] and EUR 20466 EN [4], as well as M.L. Janssens' work [5] are particularly worth mentioning. The first document [3] presents the results of real-world scale studies regarding fires of one to four passenger vehicles. These fires were initiated in various locations (e.g. inside the car, under the hood) and were caused by heat. These experiments enabled the researchers to obtain data on the fire curves and the maximum temperatures recorded during the tests. In addition, the document presents the results of measurements of ignition time for

w testach. Dodatkowo w dokumencie przedstawiono wyniki pomiarów czasu zapłonu różnych elementów pojazdów osobowych (opony, zderzak, bak, wykładziny) w zależności od wartości promieniowania cieplnego. Natomiast w drugiej w wymienionych publikacji [4] opisano pożary testowe samochodów, które zostały wykonane zarówno w garażach otwartych, jak i zamkniętych. Uzyskano informacje dotyczące krzywych pożarów i określono utraconą w wyniku pożaru masę pojazdów. Dokonano również pomiarów temperatur panujących w danym garażu podczas eksperymentu oraz ich wpływu na konstrukcję budynku np. ugięcia belek stalowych, przemieszczenia słupów. Praca M.L. Janssens [5] zawiera z kolei podsumowanie wyników badań dotyczących pożarów pojazdów osobowych w pełnej skali wykonanych przez różne ośrodki z całego świata. Wspomniane powyżej publikacje stanowią bogate źródło danych wykorzystywanych w analizach CFD.

Drugim ważnym kierunkiem badań jest weryfikacja programów komputerowych opartych na obliczeniowej mechanice płynów poprzez porównanie wyników uzyskanych z obliczeń numerycznych np. z parametrami pochodzącymi z rzeczywistych doświadczeń. Tutaj należy wspomnieć o publikacjach: [6], w której na podstawie danych pochodzących m.in. z raportu BD2552 [3] wykonano symulacje numeryczne w programach BRANZFIRE i FDS oraz dokonano porównania wyników. Podobną metodę oceny zastosowano w dokumentach [7] i [8]. W publikacji [7] badano wpływ ilości usuwanego powietrza i mocy pożaru na rozprzestrzenianie się dymu w garażach zamkniętych. Opisano pożary testowe o mocy od 200 kW do 4 MW, przy czym źródłem ognia i dymu była taca o wymiarach $3 \times 1,5 \times 0,5$ m wypełniona wodą i heksanolem. Pomimo faktu, że źródłem pożaru było ciekłe paliwo (alkohol), a nie pojazd, to ze względu na odpowiednio dobrane parametry paliwa, dym rozprzestrzenił się w garażu testowym podobnie jak przy pożarze rzeczywistego samochodu. Eksperymenty te odtworzono potem w programie FDS i przedstawiono w publikacji [8]. W kolejnych artykułach [9, 10] opisano użycie programu FDS również do odtworzenia wcześniej przeprowadzonych badań. Dla [9] punktem odniesienia były badania pożarów rzeczywistych pojazdów wykonane przez BRE i zaprezentowane w [3] – m.in.: pożar trzech sąsiadujących ze sobą samochodów w garażu wyposażonym w tryskacze. Natomiast w [10] przedstawiono wyniki symulacji CFD wykonanych na podstawie własnych eksperymentów w pełnej skali – źródło pożaru inicjowane wewnątrz przedziału pasażerskiego, bagażnika czy też pod maską pojazdu.

W przedstawionych powyżej przypadkach, do symulacji CFD w poszczególnych modelach parkingów na miejscach postojowych umieszczano najczęściej od 1 do 3 pojazdów osobowych (lub źródeł pożaru imitujących pojazd [8] i [9]). Samochody te zgodnie z normą BS 7346-7 [11] i dostępną wiedzą techniczną stanowią źródła pożaru o mocy ok. 4 MW w przypadku pojedynczego pojazdu w garażu z tryskaczami lub ok. 8 MW dla 2–3 zajętych obok siebie miejsc parkingowych przy braku instalacji tryskaczowej. Z kolei pozostałe dostępne na danej kondygnacji miejsca parkingowe są pozostawiane puste. W badaniach naukowych skupiających się na porównaniu wyników symulacji z badaniami eksperymentalnymi takie uproszczenie jest jak najbardziej zasadne. W praktycznym zastosowaniu symulacji

various elements of passenger vehicles (tyres, bumper, fuel tank, carpet) depending on heat radiation value. The second of the abovementioned publications [4] describes test fires of cars, which were performed both in unenclosed and enclosed (indoor) car parks. Information regarding fire curves was obtained and the weight of lost vehicles due to the fire was determined. Measurements of temperatures and their influence on the building's structure (e.g. bent steel beams, displaced posts) were also performed for analysed indoor car parks during the experiment. The study by M.L. Janssens [5] provides a summary of the results of studies regarding passenger vehicle fires in full scale performed by various centres from across the world. The abovementioned publications are a rich source of data for CFD analysis.

Another important purpose of research is to verify computer software based on fluid mechanics computations by comparing the results obtained in numerical calculations with e.g. parameters measured in real-life experiments. The following publications should be mentioned here: [6], which takes data from, i.a., report BD2552 [3] to perform numerical simulations in BRANZFIRE and FDS software and compare the results. A similar assessment method was used in documents [7] and [8]. Publication [7] studies the influence of the amount of air removed and fire size on the spread of smoke in indoor car parks. It describes test fires with a heat release rate of 200 kW to 4 MW, where the source of fire and smoke is a $3 \times 1.5 \times 0.5$ plate filled with water and hexanol. Despite the fact that liquid fuel (alcohol), not a vehicle, was the source of the fire, due to the suitable selection of fuel parameters, the smoke spread in the test indoor car park in a similar way as in the case of an actual car fire. These experiments were later recreated in the FDS software and presented in publication [8]. Further papers [9, 10] also describe the use of FDS to recreate previously conducted studies. [9] refers to actual fire studies of vehicles performed by BRE and presented in [3], including a fire of three adjacent cars in an indoor car park equipped with sprinklers. As for [10], it demonstrates the results of CFD simulations performed on the basis of the author's experiments at full scale – the ignition source being inside the passenger area or boot, or under the hood.

In the cases presented above, CFD simulations in individual car park models usually involved 1 to 3 passenger vehicles (or sources of fire imitating vehicles, [8] and [9]) in parking spaces. According to the BS 7346-7 standard [11] and the available technical knowledge, these cars constitute ignition sources with a heat release rate of ca. 4 MW for a single car in an indoor car park with sprinklers or ca. 8 MW for 2-3 adjacent occupied parking spaces in the absence of a sprinkler system. This assumes that the remaining parking spaces available at a given floor are left empty. Such simplifications are reasonable in scientific research focusing on the comparison of simulation results with experimental data. For the practical application of CFD simulations, it is more important to determine the impact of the civil structure's architecture on the flow of mass and heat in a fire and to answer the questions whether evacuation from the car park level will be undisrupted and whether the safety

CFD istotniejsze jest określenie wpływu architektury obiektu na przepływ masy i ciepła w warunkach pożaru i odpowiedź na pytanie, czy ewakuacja z poziomu parkingu może przebiegać w sposób niezakłócony, oraz czy zapewnione jest bezpieczeństwo ekip ratowniczych w trakcie prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych.

Modelowanie numeryczne wypełnionego garażu

Generatory losowe znajdują zastosowanie w tworzeniu scenariuszy analiz numerycznych na potrzeby inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Pierwszym przykładem wartym przywołania może być tutaj publikacja [12], w której omówiono wykorzystanie tej metody (przez autorów pracy nazywanej jako metoda Monte Carlo) w scenariuszach ewakuacji osób z budynku. Kolejnym przykładem zastosowania analogicznego podejścia może być artykuł Tohira i Spearpointa [13]. Autorzy tej publikacji użyli metody losowego doboru scenariusza do określenia, które z miejsc parkingowych zostaną wypełnione. Na podstawie m.in. danych statystycznych o pożarach samochodów osobowych w Nowej Zelandii naukowcy oszacowali uśrednione zakresy mocy pożarów samochodów w zależności od klasy pojazdu (podział na klasy względem wagi aut). Natomiast głównym celem ich badań było określenie maksymalnej wygenerowanej mocy pożaru na podstawie wyznaczonego prawdopodobieństwa powstania pożaru różnej liczby pojazdów. W dokumencie na przykładowym scenariuszu zaprezentowano wyniki dla pożarów od 1 do 64 pojazdów osobowych i oszacowano ryzyko wystąpienia tego typu zdarzeń losowych. Podobną metodę służącą do określenia zajętości poszczególnych miejsc parkingowych zastosowano w niniejszej pracy badawczej.

Na potrzeby symulacji CFD opracowano w języku Visual Basic program komputerowy „GENERATOR ZAJĘTOŚCI MIEJSC POSTOJOWYCH”. Wykorzystano do tego dane statystyczne dotyczące zarejestrowanych w 2015 r. pojazdów w Unii Europejskiej oraz te pochodzące z dokumentu [14]. Program pozwala na wylosowanie 1 z 3 typów pojazdów: model A, B lub C (ryc. 1), które mogą zajmować określone stanowisko postojowe. Dzięki tym materiałom ustalono udział procentowy pojazdów danego typu przy zajmowaniu konkretnych miejsc postojowych w garażu. W niniejszej pracy dokonano ujednolicenia poszczególnych grup pojazdów, proponując podział tylko na 3 kategorie samochodów: małe, średnie i duże (tabela 1 i ryc. 1). Zastosowane uproszczenie wynika z faktu, iż w publikacji [14] wyodrębniono 9 podstawowych segmentów pojazdów (podobnie jak w [15]), natomiast różnice pomiędzy kształtem i wymiarami samochodów dla tyłu zdefiniowanych klas są niewielkie. Wobec tego przyjęto, że rozbieżności te mają pomijalny wpływ na wyniki obliczeń numerycznych.

Ostateczna liczba analizowanych scenariuszy stanowiła kompromis pomiędzy możliwościami obliczeniowymi dostępnymi dla autorów a potrzebą analizy jak największej liczby skrajnych przypadków zagospodarowania miejsc postojowych. Liczba scenariuszy została zatem dobrana arbitralnie, co nie umniejsza możliwości oceny różnic pomiędzy przeprowadzonymi analizami. Ograniczenia związane z doбором scenariuszy zostały uwzględnione przy formułowaniu wniosków z pracy.

of rescue teams deployed to conduct firefighting and rescue operations will be maintained.

Numerical modelling of a full car park

Random generators find application in developing numerical analysis scenarios for the purposes of fire safety engineering. The first notable example is publication [12], which describes the use of this method (to which its authors refer as the Monte Carlo method) in evacuation scenarios for people present in the building. The paper by Tohir and Spearpoint is an example of a similar approach [13]. Its authors used the random scenario selection method to determine which of the parking spaces will be occupied. On the basis of, i.e., statistical data on passenger car fires in New Zealand, scientists estimated the average fire size ranges for cars depending on segment (segmentation by car weight). The main objective of the research was to determine the maximum generated fire size (heat release rate) on the basis of the identified probability of the occurrence of a fire of various numbers of vehicles. The document explores an example scenario with results for fires of 1 to 64 passenger cars and estimates the risks of such random incidents. A similar method to determine the occupancy of individual parking spaces was used in this study.

For the purposes of CFD simulation a computer program called “PARKING SPACE OCCUPANCY GENERATOR” was written in Visual Basic. It uses statistical data on vehicles registered in 2015 in the European Union and data from document [14]. The program randomly chooses one of three vehicle types: A, B or C (Fig. 1), to occupy each individual parking space. This data facilitated determining the percentage of cars of each type occupying specific parking spaces inside a car park. This paper simplifies the vehicle segments by suggesting a division into only 3 car segments: small, medium and large (Table 1 and Fig. 1). This simplification is due to the fact that while publication [14] lists 9 basic car segments (similarly as [15]), the differences in shape and dimensions for these segments are small. For this reason, it was assumed that these differences have negligible impact on the results of numerical calculations.

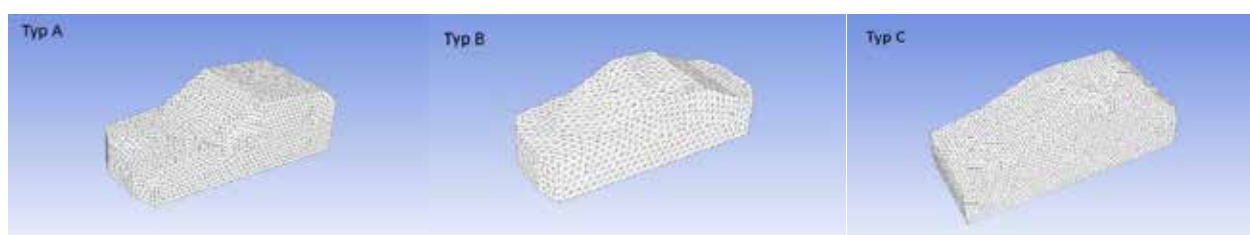
The final number of analysed scenarios was a compromise between the computational power available to the authors and the need to analyse as large a number of extreme cases of parking space occupancy as possible. As a result, the number of scenarios was selected in an arbitrary manner, which does not, however, affect the possibility of analysing the differences between the performed analyses. The limitations connected with the choice of scenarios were taken into account in developing conclusions.

Tabela 1. Udział procentowy poszczególnych klas pojazdów zastosowanych w badaniu i zarejestrowanych w UE w 2015 r.**Table 1.** The percentage contribution of different car types used in the research and registered in the EU in 2015

Udziały danej klasy pojazdów zastosowanych do obliczeń numerycznych / The percentage of a given segment of vehicles used for numerical calculations		
Typ pojazdu / Car type	Udział procentowy / szansa wylosowania pojazdu z danego segmentu / Percentage / probability of random occurrence by segment	Rodzaj pojazdu / Car type
Model A	32%	Opel Corsa
Model B	30%	Ford Escort
Model C	33%	Audi Q7

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

**Rycina 1.** Modele pojazdów typu A, B i C – segment małych, średnich i dużych samochodów**Figure 1.** A, B and C car models – small, medium and large cars

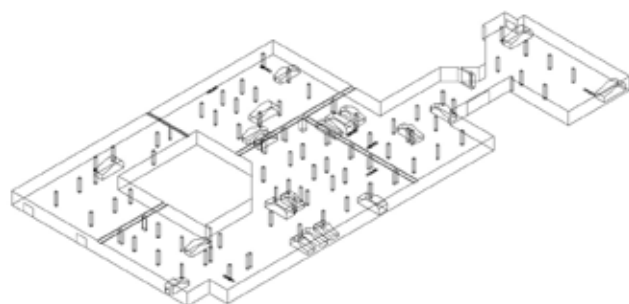
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

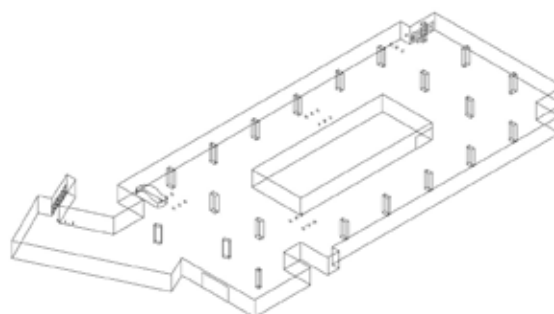
Na rycinie nr 2 przedstawiono natomiast modele garaży, na podstawie których wykonano obliczenia numeryczne.

Figure 2 presents the car park models used for performing numerical calculations.

a)



b)

**Rycina 2.** Modele garaży opracowane na potrzeby obliczeń numerycznych**Figure 2.** Car park models created for the purposes of numerical calculations

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Założenia dotyczące obliczeń numerycznych

Założenia dla systemów wentylacji pożarowej

Obydwa garaże posiadają powierzchnię dużo mniejszą niż 5000 m² (tabela 2), dlatego stanowią jedną strefę pożarową zgodnie z [16]. W przypadku garażu nr 1 zaprojektowany został system wentylacji mechanicznej oddymiającej wspomagany siedmioma wentylatorami strumieniowymi o sile ciągu 55 N każdy. Do usunięcia dymu i gorących gazów pożarowych

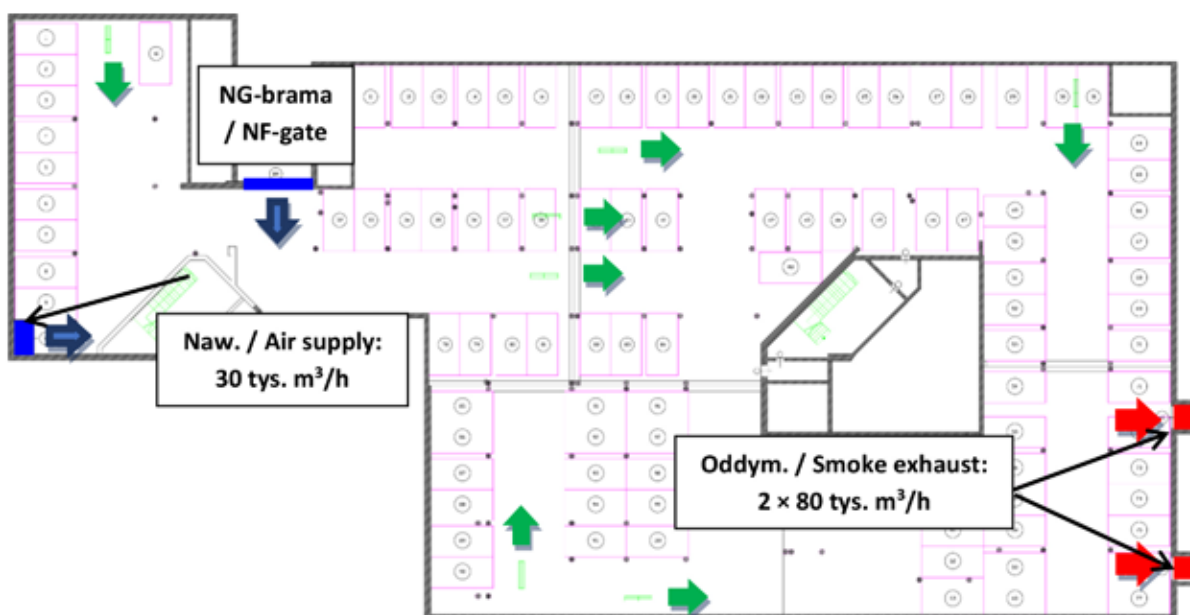
Assumptions for numerical calculations

Assumptions for fire ventilation systems

Both indoor car parks have areas much smaller than 5,000 m² (Table 2), which is why they constitute a single fire compartment according to [16]. Car park No. 1 features a mechanical smoke exhaust ventilation system assisted by seven jet ventilators with a thrust of 55 N each. Two exhaust ducts powered by fire ventilators with flow rates of 80,000 m³/h each

służą dwa szachty wyciągowe obsługiwane przez wentylatory pożarowe o wydatkach odpowiednio po 80 000 m³/h na szacht. Lokalizację szachtów wyciągowych zaznaczono na ryc. 3 kolorem czerwonym. W czasie pożaru powietrze świeże doprowadzane jest mechanicznie poprzez szacht nawiewny (wydatek 30 000 m³/h) i grawitacyjnie poprzez otwartą bramę garażową (punkty nawiewne oznaczono na ryc. 7 kolorem niebieskim). W celu uproszczenia analiz przyjęto, że garaż o powierzchni 2835 m² stanowi jedną strefę dymową. Pożar w scenariuszach dla garażu nr 1 został zainicjowany na stanowisku nr 32. Opis pożaru wykorzystanego w analizach przedstawiono w dalszej części artykułu.

were used to remove smoke and hot fire gases. Exhaust duct locations are presented in Fig. 3 (in red). During a fire, fresh air is supplied mechanically through the air supply duct (flow rate: 30,000 m³/h) and gravitationally (natural flow – NF) through the open gate (inlet points indicated in blue in Fig. 7). To simplify analysis, it was assumed that an indoor car park with an area of 2,835 m² constitutes a single smoke compartment. The fire in scenarios for Car park No. 1 was initiated in space No. 32. A description of the fire used in the analyses is presented further in this paper.



Rycina 3. Rzut instalacji oddymiającej garaż nr 1. Kolorem niebieskim oznaczono punkty nawiewne, kolorem czerwonym – szachty wyciągowe, kolorem zielonym wentylatory strumieniowe i kierunki ich pracy

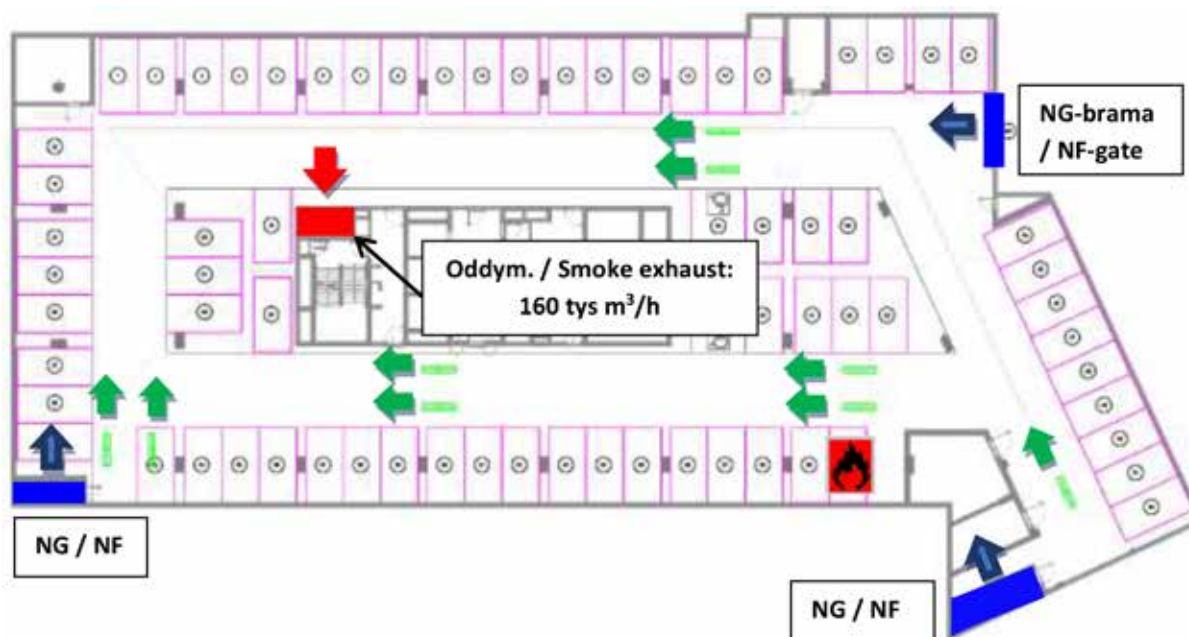
Figure 3. Top view of the smoke exhaust system in Car park No. 1 Air inlet points are in blue, exhaust ducts are in red and jet ventilators and their directions are in green

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

W garażu nr 2 zaprojektowany został system wentylacji mechanicznej oddymiającej wspomagany 9 wentylatorami strumieniowymi o sile ciągu 55 N każdy. Założono, że wyciąg dymu i gorących gazów pożarowych odbywa się w nim za pomocą wentylatorów pożarowych o łącznym wydatku 160 000 m³/h (szacht oddymiający oznaczono na ryc. 4 kolorem czerwonym). W czasie pożaru kompensacja powietrza świeżego następuje grawitacyjnie poprzez trzy punkty nawiewne: otwartą bramę garażową i dwie szachty zlokalizowane po przeciwległych krawędziach budynku (punkty nawiewne oznaczono na ryc. 4 kolorem niebieskim). Garaż stanowi jedną strefę dymową. Pojazd będący źródłem ciepła i dymu to samochód na stanowisku nr 70.

Car park No. 2 features a mechanical smoke exhaust ventilation system assisted by nine jet ventilators with a thrust of 55 N each. It was assumed that smoke and hot fire gases are being removed using fire ventilators with a total flow rate of 160 000 m³/h (the smoke exhaust duct is presented in Fig. 4 (in red). During a fire, the compensation of fresh air occurs naturally through three inlet points – the open car park gate and two ducts located at the opposite ends of the building (inlet points are presented in Fig. 4 in blue). The indoor car park is a single smoke compartment. The vehicle being the source of heat and smoke is the car occupying parking space No. 70.



Rycina 4. Rzut instalacji oddymiającej garaż nr 2. Kolorem niebieskim oznaczono punkty nawiewne, kolorem czerwonym – szachty wyciągowe, kolorem zielonym – wentylatory strumieniowe i kierunki ich pracy

Figure 4. Top view of the smoke exhaust system in Car park No. 2. Air inlet points are in blue, exhaust ducts are in red and jet ventilators and their directions are in green

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Dane geometryczne charakteryzujące poszczególne garaże zebrano w tabeli nr 2.

Table 2 presents the geometrical data for the individual indoor car parks.

Tabela 2. Parametry geometryczne garaży

Table 2. Geometrical data of the car parks

	Garaż nr 1 / Car park No. 1	Garaż nr 2 / Car park No. 2
Powierzchnia garażu / Car park area	2 858 m ² / 2,858 m ²	1 953 m ² / 1,953 m ²
Wysokość garażu / Car park height	2,75 m / 2.75 m	2,9 m / 2.9 m
Ilość szachtów oddymiających / Number of exhaust ducts	2 × 80 tys. m ³ /h / 2 × 80,000 m ³ /h	1 × 160 tys. m ³ /h / 1 × 160,000 m ³ /h
Liczba miejsc postojowych / Number of parking spaces	100	70

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Założenia przyjęte w obliczeniach numerycznych

Analizy przeprowadzono dla krzywej rozwoju pożaru TNO zawartej w normie NEN 6098:2012 [17] i krzywej at2 (o współczynniku α wynoszącym 0,0468 kW/s²) dla źródła w postaci jednego samochodu osobowego. Zmniejszono natomiast moc pożaru do 4 MW ze względu na wyposażenie obydwu garaży w instalację tryskaczową. Zastosowano model objętościowego źródła ciepła i dymu, w którym generowane są ciepło oraz cząsteczki dymu. Zmiana parametrów w czasie została opisana funkcją użytkownika (tzw. UDF) [18].

Układ równań modelu obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) wykorzystywany przez program ANSYS Fluent zawarto w jego dokumentacji technicznej [19]. Najważniejszymi podmodelami wykorzystanymi w obliczeniach były: model przepływu

Assumptions for numerical calculations

The analyses were performed for a TNO fire curve included in the NEN 6098:2012 standard [17] and at2 curve (with the α coefficient of 0.0468 kW/s²) for an ignition source of one passenger car. However, the heat release rate was reduced to 4 MW due to both car parks being equipped with a sprinkler system. The volumetric heat and smoke source model, involving the generation of heat and smoke particles, was used. The change of parameters in time was described using a user-defined function (UDF) [18].

The system of equations of a computational fluid dynamics (CFD) model used by ANSYS Fluent software is provided in its technical documentation [19]. The most important sub-models used in the calculations were the Realizable $k-\epsilon$ turbu-

turbulentnego typu Realizable $k-\epsilon$, uproszczony model promieniowania typu P1 oraz model transportu składników mieszaniny typu species transport. Szerszy opis metody obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) oraz poszczególnych modeli fizycznych wykorzystywanych w niniejszej pracy przedstawiono w publikacji [20] poświęconej modelowaniu numerycznemu pożarów w garażach zamkniętych.

Na potrzeby rozwiązania transportu dymu przyjęto, że dym posiada te same właściwości fizyczne co powietrze [20]. Częsteczki dymu generowane były z intensywnością wynikająca z chwilowej mocy pożaru, efektywnego ciepła spalania (25,00 MJ/kg) oraz współczynnika generacji sadzy (0,1 kg/kg). Zmienność mocy pożaru w czasie przedstawiono na ryc. 5. Parametr uśrednionego efektywnego ciepła spalania przyjmowano w oparciu o [20] oraz [21], podczas gdy współczynnik generacji sadzy w oparciu o [22]. Podsumowanie założeń przyjętych w obliczeniach przedstawiono w tabeli nr 3. Zainicjowany pożar rozwijał się według krzywych przedstawionych na ryc. 5.

Tabela 3. Parametry i modele obliczeń zastosowane w symulacjach

Table 3. The calculation parameters and models used in the simulations

Modele matematyczne [19, 20] / Mathematical models [19, 20]	
Model turbulencji / Turbulence model	Realizable $k-\epsilon$
Model promieniowania / Radiation model	P1
Model wymiany ciepła / Heat exchange model	oparty o prawo Fouriera / based on Fourier's law
Model transportu składników mieszaniny / Mixture fraction transport model	Species transport
Model pożaru / Fire model	Objętościowe źródło ciepła i dymu uwzględniające zmienność produkcji w czasie / Volumetric heat and smoke source taking into account the variability of its production over time
Warunki brzegowe i początkowe / Boundary and initial conditions	
Temp. otoczenia/nawiewu kompensacyjnego / Ambient temperature/compensation inlet temperature	20°C
Temp. wewnątrz garaży / Temp inside car parks	20°C
Wsp. przejmowania ciepła dla ścian / Heat transfer coefficient for walls	35,00 W/m ² K / 35.00 W/m ² K
Maksymalna moc pożaru / Maximum heat release rate	4 lub 6 MW (wg ryc. 5) / 4 or 6 MW (according to Fig. 5)
Efektywne ciepło spalania – na podstawie [20, 21] / Effective heat of combustion – based on [20, 21]	25,00 MJ/kg / 25.00 MJ/kg
Wsp. dymotwórczości "soot yield" na podstawie [22] / Soot yield based on [22]	0,1 kg/kg / 0.1 kg/kg
Ściany wykonane z żelbetu / Reinforced concrete walls	$\rho = 2500 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 1,7 \text{ W/mK}$; $c = 0,84 \text{ kJ/kgK}$ / $\rho = 2,500 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 1.7 \text{ W/mK}$; $c = 0.84 \text{ kJ/kgK}$

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wykonano również analizę wpływu siatki na wyniki obliczeń. Wykorzystano tetrahedralną siatkę niestrukturalną. Weryfikacja ta pozwoliła na wybranie optymalnych wartości gęstości siatki ze scenariusza B (tabela 4, z siatką z odległością od źródła pożaru wynoszącą 15 cm oraz siatką w obszarze poza źródłem – 60 cm).

Analizowane obszary w garażach podzielono za pomocą niestrukturalnej tetrahedralnej siatki numerycznej na skończoną liczbę objętości kontrolnych. Podział siatki obliczeniowej na objętości wynosił, w zależności od modelu i scenariusza, od ok.

1000 do 10000 objętości kontrolnych. W niniejszym artykule przedstawiono wyniki dla modelu P1, modelu promieniowania P1 oraz modelu transportu składników mieszaniny (species transport). A more extensive description of the computational fluid dynamics (CFD) method and the specific physical models used in this work is presented in publication [20] dedicated to the numerical modelling of fires in enclosed (indoor) car parks.

For the purposes of the smoke transport solution it was assumed that smoke has the same physical properties as air [20]. The smoke particles were generated with an intensity resulting from the transient heat release rate, the effective heat of combustion (25.00 MJ/kg) and soot yield (0.1 kg/kg). The change of heat release rate over time is presented in Fig. 5. The averaged effective heat of combustion parameter was adopted on the basis of [20] and [21] and the soot yield value was based on [22]. Table 3 presents a summary of the assumptions adopted in the calculations. The initiated fire developed according to the curves presented in Fig. 5.

An analysis of the influence of the mesh on calculation results was also performed. A non-structural tetrahedral mesh was used. This verification allowed the selection of optimum mesh density values from scenario B (Table 4, mesh with 15 cm distance from the ignition source and mesh in the area outside the source – 60 cm).

The analysed areas in indoor car parks were divided using a non-structural tetrahedral computational mesh into a finite number of control volumes. The division of the computational mesh into volumes resulted in 632,000 to 688,000 (car park

632 000 do 688 000 (garaż nr 1) i od ok. 555 000 do 598 000 (garaż nr 2) elementów. W rejonach, w których spodziewano się występowania dużych gradientów badanych wielkości fizycznych (m.in. obszar sąsiadujący ze źródłem pożaru oraz wlotów i wylotów powietrza), dokonano zagęszczenia siatki numerycznej

No. 1) and from 555,000 to 598,000 (car park No. 2) elements, depending on the model and scenario. In areas where large gradients in the studied physical properties were expected (including the area adjacent to the ignition source and air inlets and outlets), the computational mesh was condensed.

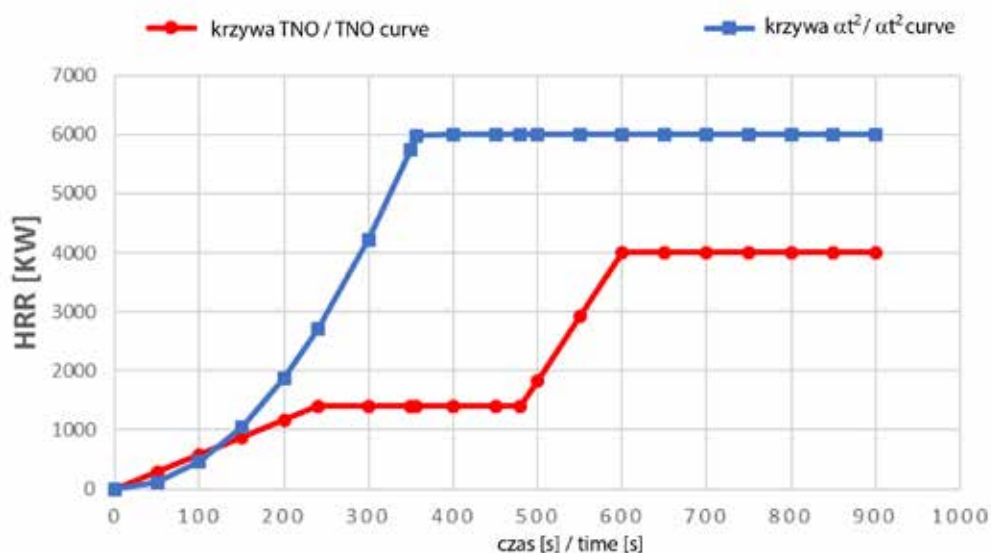
Tabela 4. Analiza wrażliwości zastosowanych siatek na wyniki obliczeń

Table 4. An analysis of the sensitivity of the meshes to calculation results

Oznaczenie scenariusza / Scenario	Przy źródle ciepła / Near heat source [cm]	Obszar zewnętrzny / External area [cm]	Maksymalna masowa koncentracja dymu / Maximum mass concentration of smoke [g/m ³]	Maksymalna temperatura wypływającego dymu / Maximum temperature of outflowing smoke [°C]
A	15	50	0,696	297,12
B	15	60	0,7	300,71
C	15	70	0,701	301,87
D	10	60	0,703	301,84

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 5. Krzywe rozwoju pożaru zastosowane w obliczeniach numerycznych

Figure 5. Fire curves used in numerical calculations

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Analizy numeryczne i kryteria oceny

Na potrzeby badań dla każdego z dwóch modeli garażu opracowano po jedenaście scenariuszy pożaru, w zależności od liczby i lokalizacji zajętych przez pojazdy (typ A, B lub C) miejsc postojowych. Wszystkie wyżej wymienione scenariusze przeliczono według krzywych TNO. Oprócz tego powtórzono obliczenia dla pożarów rozwijających się według krzywej at^2 . Obydwie krzywe pożaru przedstawiono na ryc. 5. Informacje dotyczące zajętości miejsc parkingowych przez różną liczbę

Numerical Analyses and Assessment Criteria

For the purposes of the study, eleven scenarios were developed for each of the two car park models, depending on the number and location of the parking spaces occupied by vehicles (type A, B or C). All of the abovementioned scenarios were calculated according to TNO curves. In addition, calculations for fires developing according to the at^2 curve were repeated. Both fire curves are presented in Fig. 5. Table 5 presents information concerning the occupancy rate of parking spaces by type

pojazdów poszczególnych typów przedstawiono w tabeli 5. Do zaprezentowania w niniejszej publikacji wybrano najbardziej reprezentatywne scenariusze spośród wszystkich serii obliczeń wykonanych dla poszczególnych garaży. Prezentowane wyniki (masowa koncentracja dymu oraz pola prędkości) dotyczą zajętości miejsc parkingowych w 0%, 20%, 40%, 60%, 80% i w całkowicie wypełnionym garażu dla serii obliczeń wg krzywej TNO i w 0%, 40% oraz w 100% dla serii obliczeń wg krzywej at^2 . Ocenę wyników symulacji dla poszczególnych scenariuszy zawężono do czasu zakończenia ewakuacji osób, czyli do około trzysetnej sekundy od momentu zainicjowania pożaru. Jako kryterium oceny przyjęto, że przewidywana masowa koncentracja dymu w czasie ewakuacji osób w przejściach i drogach ewakuacyjnych na wysokości 1,80 m powyżej posadzki nie powinna przekraczać $0,105 \text{ g/m}^3$, co odpowiada lokalnej widzialności znaków ewakuacyjnych świecących własnym światłem równej lub mniejszej niż 10 m. W symulacjach o mocy pożaru zwiększonej do 4,2 MW (wg at^2 dla trzysetnej sekundy) zmieniono zakres prezentowania wyników masowej koncentracji dymu na $0,00\text{--}0,40 \text{ g/m}^3$, aby można było zaobserwować różnice pomiędzy symulacjami.

of vehicle. The most representative scenarios from all series of calculations performed for individual car parks were selected for presentation in this publication. The presented results (for the mass concentration of smoke and velocity field) concern the 0%, 20%, 40%, 60%, 80% and 100% occupancy rate of parking spaces for the series of calculations according to the TNO curve and 0%, 40% and 100% for the series of calculations according to the at^2 curve. The assessment of the simulation results for specific scenarios was narrowed down to the period until the evacuation of people is finished, i.e. until ca. 300 seconds after the moment of ignition. It was assumed as an assessment criterion that the expected mass concentration of smoke during the evacuation of people in passages and escape routes at a height of 1.80 m above floor level should exceed 0.105 g/m^3 , which corresponds to a local visibility of escape sign luminaires equal to or lower than 10 m. In simulations with a heat release rate increased to 4.2 MW (according to at^2 for the 300th second) the range of presenting the results of the mass concentration of smoke was changed to $0.00\text{--}0.40 \text{ g/m}^3$ to facilitate the observation of differences between the simulations.

Tabela 5. Liczba miejsc postojowych w danym garażu zajęta przez konkretny typ pojazdu A, B lub C

Table 5. The number of parking spaces in a given indoor car park occupied by a specific vehicle type (A, B or C)

	Pożar / Fire	Zajętość miejsc w % / Occupancy rate in %	Nr symulacji / Simulation No.	Liczba pojazdów / Number of vehicles		
				Typ A / A-segment	Typ B / B-segment	Typ C / C-segment
GARAŻ 1 / CAR PARK 1	TNO	0	1	0	1	0
		20	2	8	4	2
			3	1	7	6
		40	4	10	9	9
			5	10	9	9
		60	6	7	17	18
			7	8	15	19
		80	8	14	22	20
			9	18	14	24
		100	10	16	23	31
			11	12	29	29
	at^2	0	1	0	1	0
		40	2	10	9	9
		100	3	16	23	31
GARAŻ 2 / CAR PARK 2	TNO	0	1	0	1	0
		20	2	11	2	7
			3	5	8	7
		40	4	9	14	17
			5	10	13	17
		60	6	20	19	21
			7	22	18	20
		80	8	31	17	22
			9	24	25	31
		100	10	30	34	36
			11	33	23	44
	at^2	0	1	0	1	0
		40	2	9	14	17
		100	3	30	34	36

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Garaż 1

Rozwój pożaru wg krzywej TNO (chwilowa moc pożaru w trzysetnej sekundzie: 1,4 MW)

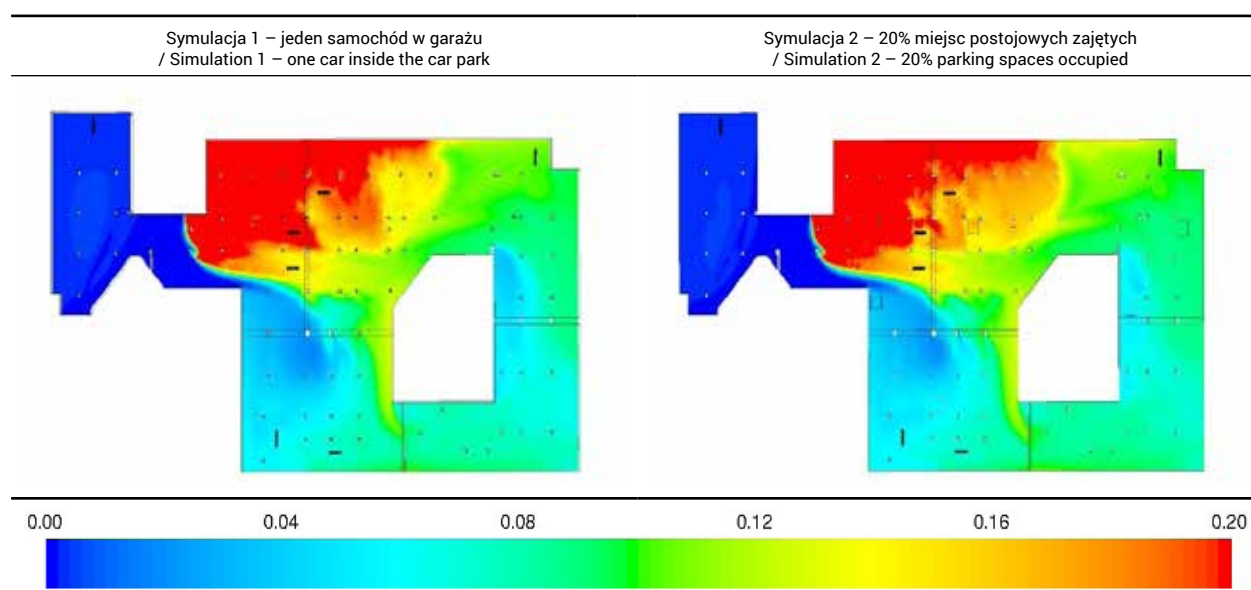
Analiza wykonanych symulacji komputerowych dla garażu nr 1, pozwala zaobserwować znaczne różnice pomiędzy poszczególnymi scenariuszami związane z masową koncentracją dymu. Różnice te szczególnie dobrze widać w prawym górnym obszarze garażu (obszar 2 na ryc. 6). Różnica w ilości sadzy w powietrzu pomiędzy scenariuszem 1. i 10. może dochodzić nawet do ok. $0,085 \text{ g/m}^3$. Podobna sytuacja ma miejsce na obszarze wokół trzonu budynku (np. obszar 1, ryc. 22), gdzie ilość dymu jest znacznie większa w symulacji nr 10 niż w symulacji nr 1 o ok. $0,04 \text{ g/m}^3$. Wyniki pozostałych obliczeń dla różnych wariantów wypełnienia garażu pojazdami przedstawiono w tabeli 6.

W przypadku pola temperatur w 300. s różnice są na tyle małe pomiędzy wszystkimi scenariuszami, że nie mają one wpływu na pogorszenie lub wręcz uniemożliwienie prawidłowego przebiegu ewakuacji z zagrożonego obszaru.

W przypadku oceny pola prędkości można stwierdzić, że w garażu nr 1 powstało zawirowanie o średnicy znacząco przekraczającej wysokość garażu. Kształt wirów wytworzonych w wyniku działania systemu oddymiającego jest zbliżony we wszystkich zaprezentowanych scenariuszach. Jedyna różnica wynika z niewielkich zmian prędkości w poszczególnych fragmentach tego wiru. Natomiast istotnym faktem jest, że pomimo uformowania się wiru o tym samym kształcie we wszystkich symulacjach, samochody stanowią istotną przeszkodę na drodze strug powietrza i dymu. Wpływa to z kolei na dyssypację energii kinetycznej płynącego powietrza, co w rezultacie powoduje różnorodne zadymienie w odpowiadających sobie obszarach garażu.

Tabela 6. Przewidywana masowa koncentracja dymu na wysokości 1,8 m od poziomu posadzki [$0,00\text{--}0,20 \text{ g/m}^3$] w trzysetnej sekundzie symulacji; Garaż 1

Table 6. The expected mass concentration of smoke at a height of 1.8 m from the floor level [$0.00\text{--}0.20 \text{ g/m}^3$] in the 300th second of the simulation; Car park No. 1



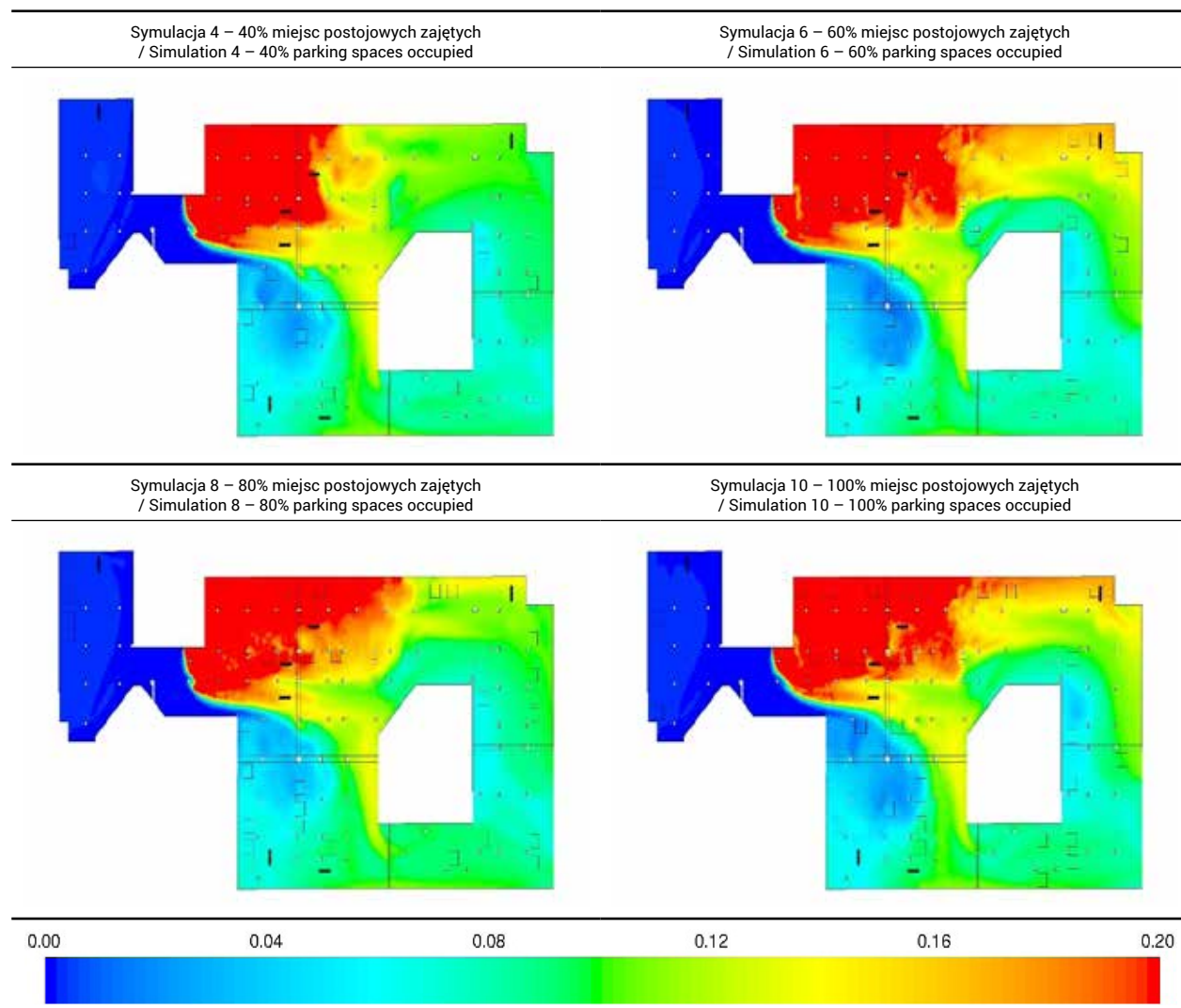
Car park 1

Fire development according to the TNO curve (transient heat release rate in the 300th second: 1.4 MW)

An analysis of the computer simulations performed for car park No. 1 demonstrates significant differences between the individual scenarios in terms of the mass concentration of smoke. These differences are particularly noticeable in the top right area of the car park (Area 2 in Fig. 6). The difference in soot amount in air between scenarios 1 and 10 can be as high as 0.085 g/m^3 . A similar situation is present in the area around the building's core (e.g. Area 1, Fig. 22), where the amount of smoke is much higher in simulation 10 than in simulation 1 (by ca. 0.04 g/m^3). Table 6 presents the results of the remaining calculations for various occupancy scenarios.

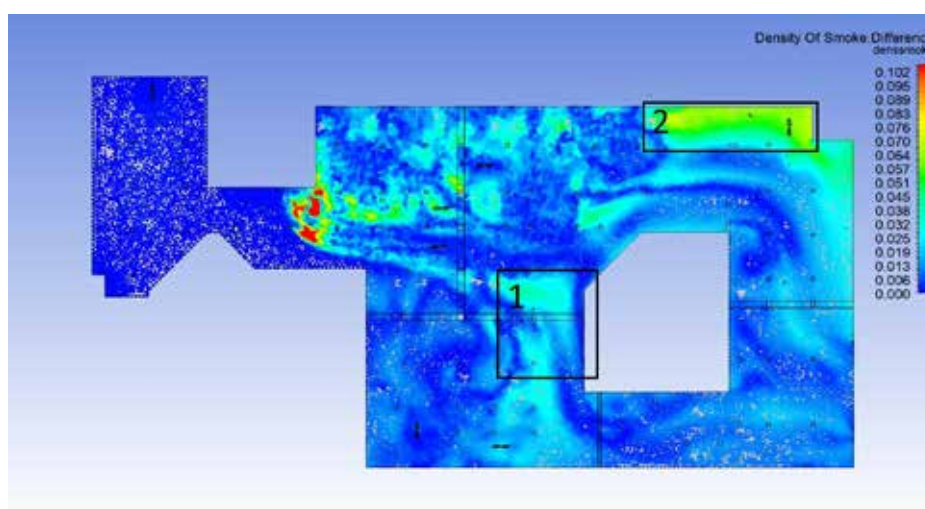
For the temperature field in the 300th second, the differences across all scenarios are so small that they cannot hinder or prevent the correct course of evacuation from the affected area.

For the velocity field, it can be stated that there was a turbulence in car park No. 1 with a diameter by far exceeding the height of the car park. The shape of the turbulences generated as a result of the operation of the smoke exhaust system is similar in all the presented scenarios. The only difference is due to slight velocity changes in the specific areas of the turbulence. However, it is important that even though the shape of the turbulence was the same in all simulations, cars constitute a significant obstacle to the flow of air and smoke. This, in turn, contributes to the dissipation of the kinetic energy of flowing air, which results in varied smoke accumulation in the corresponding car park areas.



Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

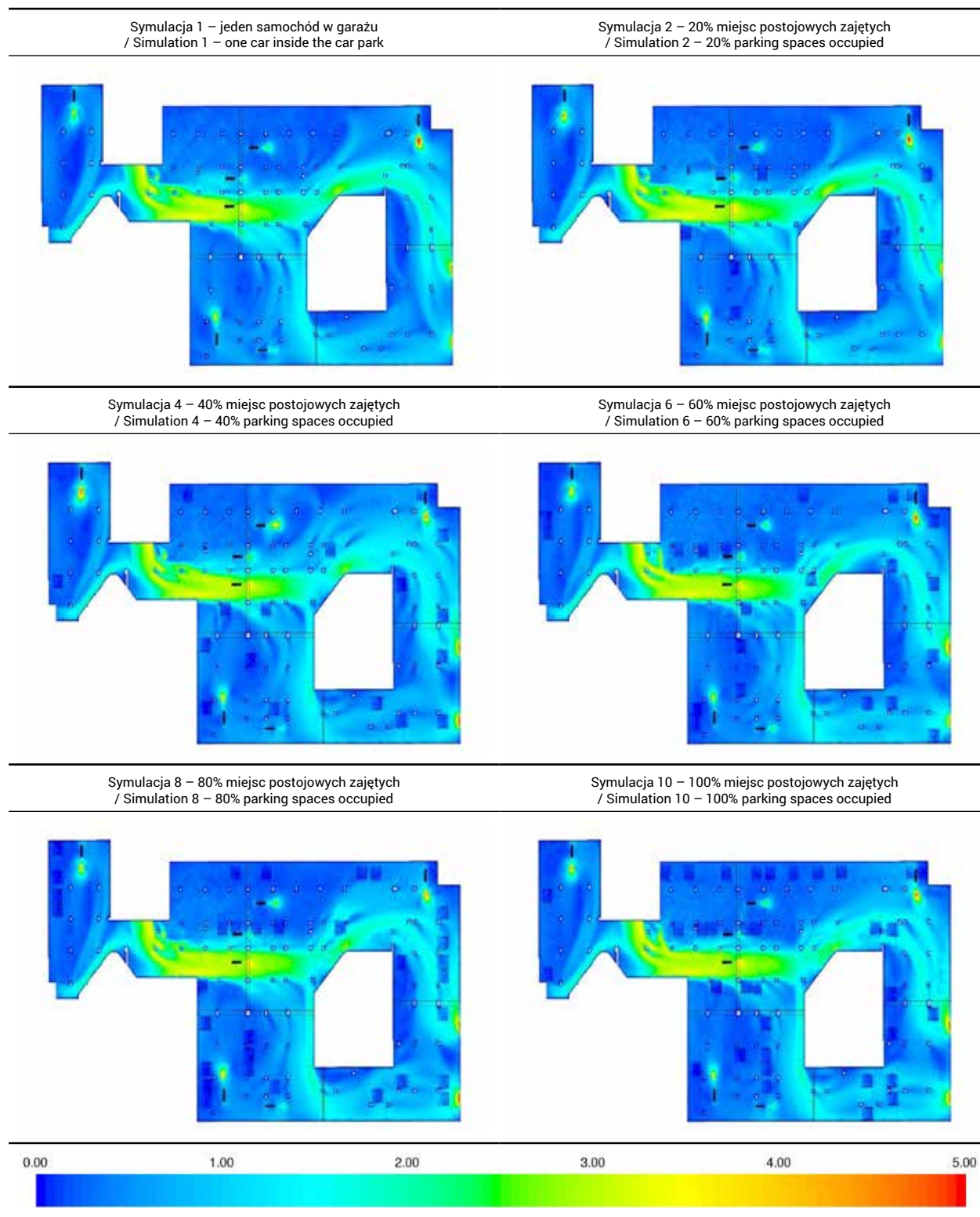


Rycina 6. Różnice w masowej koncentracji dymu [g/m³] pomiędzy symulacją nr 1 a 10 w trzysetnej sekundzie symulacji

Figure 6. Differences in the mass concentration of smoke [g/m³] between simulations 1 and 10 in the 300th second of the simulation

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 7. Przewidywane pole prędkości na wysokości 1,8 m od posadzki [0–5 m/s] w trzysetnej sekundzie symulacji; Garaż 1**Table 7.** The expected velocity field at a height of 1.8 m from the floor level [0–5 m/s] in the 300th second of the simulation; Car park No. 1

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Rozwój pożaru wg krzywej at^2 (chwilowa moc pożaru w trzysetnej sekundzie: 4,2 MW)

W symulacji nr 3, w prawym dolnym rogu garażu, ilość wygenerowanego dymu podczas pożaru o mocy 4,2 MW osiąga wartość w przedziale od 0,13 do 0,15 g/m³. W symulacji nr 1 odpowiadające temu miejscu parametry są znacznie niższe – ok. 0,11 g/m³. Dodatkowo z analizy obliczeń nr 1, 2 i 3 przy zwiększonych zakresach masowej koncentracji dymu na płaszczyźnie wynikowej widać rozbieżności w prawym górnym rogu garażu. Różnica w ilości wygenerowanego dymu w tej lokalizacji może dochodzić do 0,07 g/m³.

Pola temperatur podobnie jak pola prędkości na wysokości 1,8 m są do siebie zbliżone dla wszystkich trzech wykonanych symulacji.

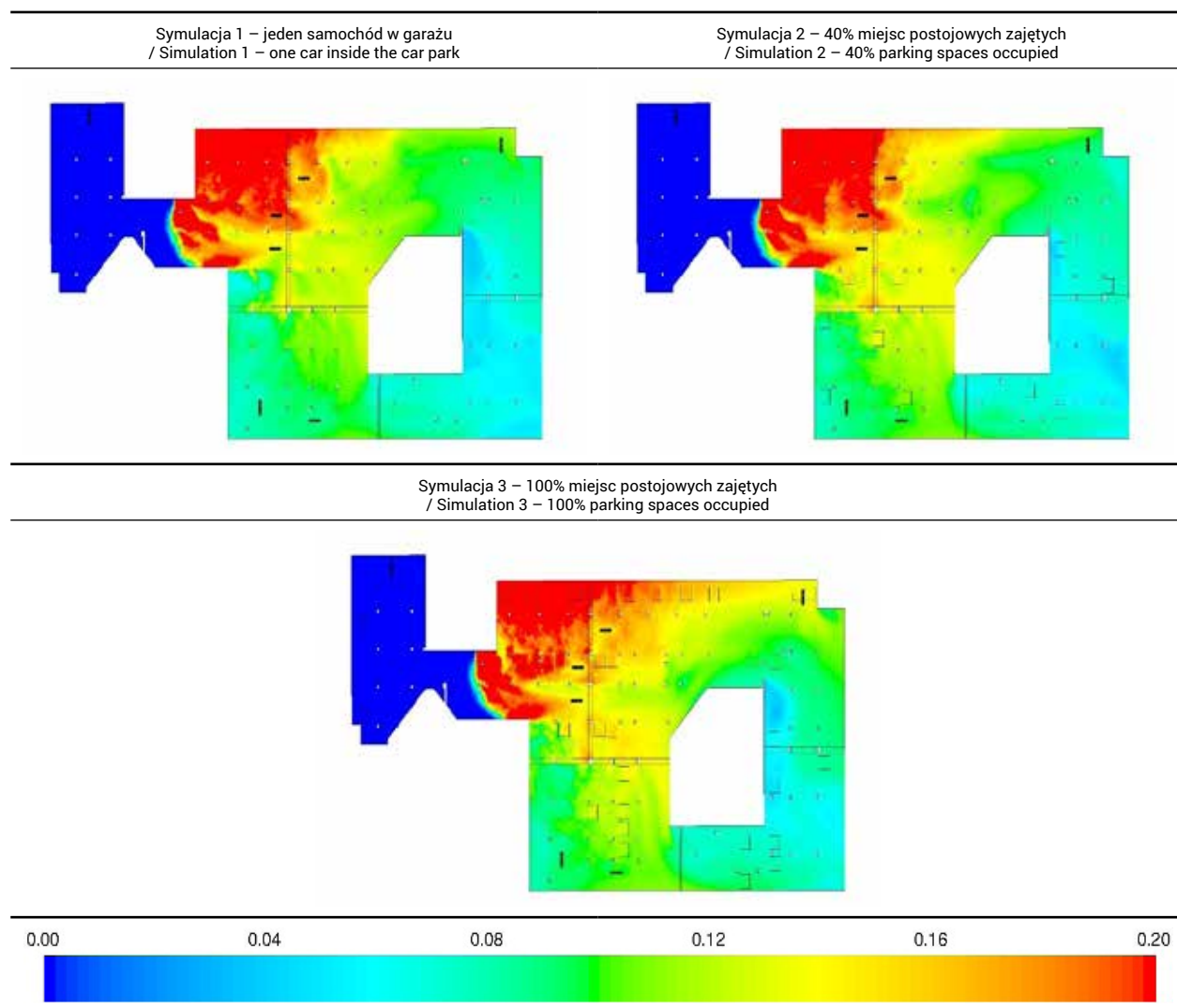
Fire development according to the at^2 curve (transient heat release rate in the 300th second: 4.2 MW)

For simulation 3, in the lower right corner of the car park, the amount of generated smoke during a fire with a heat release rate of 4.2 MW reaches a value between 0.13 and 0.15 g/m³. For simulation 1, the parameters for the corresponding area are much lower – ca. 0.11 g/m³. Furthermore, for the analysis of computations 1, 2 and 3 with elevated ranges of the mass concentration of smoke, the results plane shows differences in the upper right corner of the car park. The difference in the amount of smoke generated in this location can reach 0.07 g/m³.

Like velocity fields, temperature fields at the height of 1.8 m are similar for all three simulations.

Tabela 8. Przewidywana masowa koncentracja dymu na wysokości 1,8 m od poziomu posadzki [0,00–0,40 g/m³] w trzysetnej sekundzie symulacji; Garaż 1

Table 8. The expected mass concentration of smoke at a height of 1.8 m from the floor level [0.00–0.40 g/m³] in the 300th second of the simulation; Car park No. 1



Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Garaż 2

Rozwój pożaru wg krzywej TNO (chwilowa moc pożaru w trzysetnej sekundzie: 1,4 MW)

Masowa koncentracja dymu przyjmuje całkowicie różne wartości dla odpowiadających sobie obszarów w poszczególnych scenariuszach. Widać to dokładnie m.in. w lewej dolnej części garażu (obszar 1, ryc. 7) – jeśli porówna się ze sobą np. symulacje 1 i 10. Dla wariantu z jednym pojazdem ta część garażu jest całkowicie zadymiona. Rozbieżność tutaj dochodzi nawet do ok. 0,105 g/m³. Podobne różnice można odnotować podczas porównywania obliczeń dla obszaru położonego w pobliżu trzonu budynku (obszary 2 i 4, ryc. 7), na obszarze 3 oraz obok prawego szachtu nawiewnego (obszar 5, ryc. 7). Natomiast wraz ze wzrostem liczby pojazdów w garażu w przestrzeniach nr 3 i 5 znacznie spada ilość dymu na ocenianym poziomie 1,8 m.

W odniesieniu do pola temperatury można zaobserwować, że dla garażu z niezajętymi miejscami postojowymi uzyskane wartości tego parametru na wysokości 1,8 m od poziomu posadzki są wyższe w prawej części garażu, podczas gdy dla wypełnionego całkowicie pojazdami garażu temperatury są wyższe w dolnej części parkingu podziemnego.

Porównując pola prędkości przepływu mieszaniny dymu i powietrza na poziomie 1,8 m od posadzki, daje się zauważyć, że dla garaży wypełnionych pojazdami nie tworzy się wir wokół trzonu budynku, tak jak w symulacji nr 1.

Dodatkowo można zauważyć, że w rozpatrywanych symulacjach pole prędkości przyjmuje inny kształt w obszarze pomiędzy bramą pożarową a kratą wyciągową (większe prędkości w tej części garażu uzyskiwane są dla symulacji nr 6, 8 i 10).

Car park 2

Fire development according to the TNO curve (transient heat release rate in the 300th second: 1.4 MW)

The mass concentration of smoke assumes completely different values for the corresponding areas across different scenarios. This is clearly visible in e.g. the lower left part of the car park (area 1, Fig. 7) – when comparing simulations 1 and 10. For the variant with only one vehicle this part of the car park is completely engulfed by smoke. Here, the difference is up to even 0.105 g/m³. Similar differences can be observed when comparing the calculations for the area located near the building's core (areas 2 and 4, Fig. 7), in area 3 and near the right air supply duct (area 5, Fig. 7). As the number of vehicles in the indoor car park increases the amount of smoke at the height of 1.8 m in areas 3 and 5 decreases significantly.

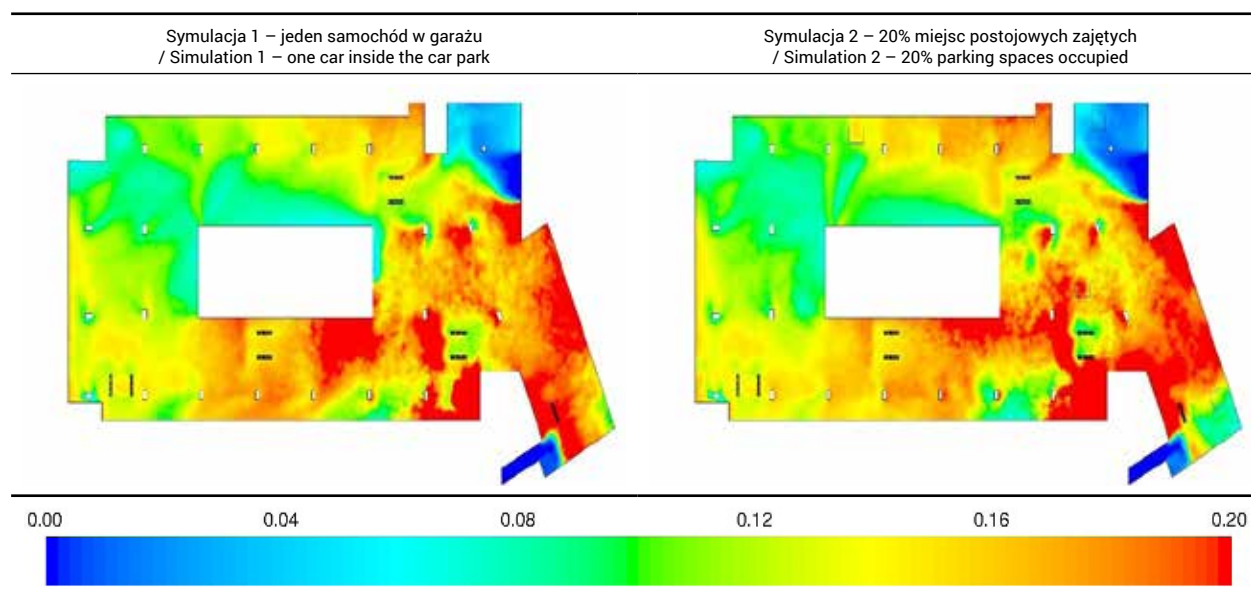
With regard to the temperature field, it can be observed that for the car park with no parking spaces occupied, the obtained values for this parameter at the height of 1.8 m from the floor level are higher in the right-hand part of the car park, while for the fully-occupied car park the temperatures are higher in its the lower part.

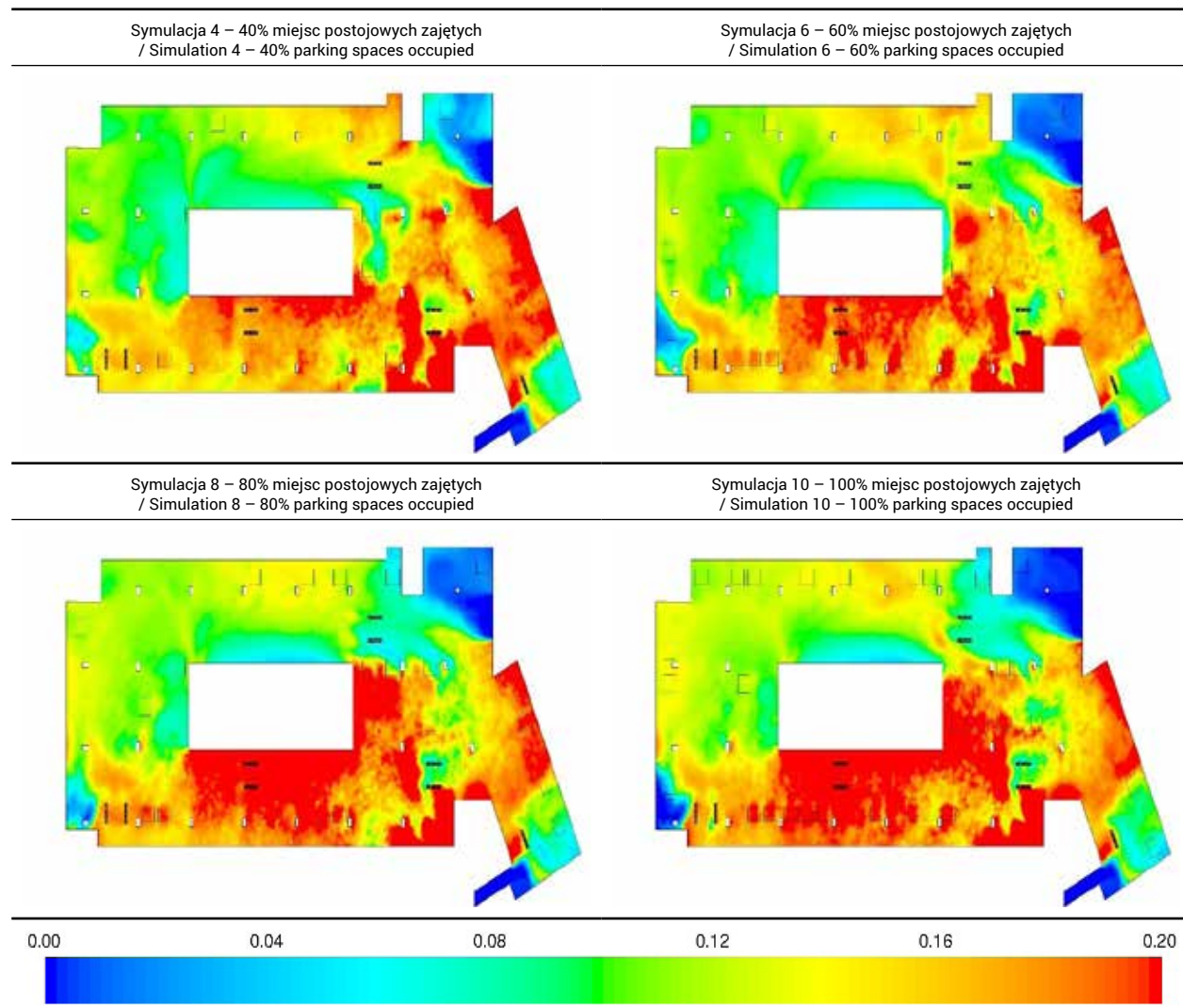
When comparing the velocity fields of the smoke and air mixture flow at the height of 1.8 m from the floor level, it is noticeable that for car parks occupied with vehicles no turbulence around the building's core is formed, such as in simulation 1.

In addition, it should be noted that in the considered simulations the velocity field assumes a different shape in the area between the fire gate and the exhaust grille (higher speeds in this part of the car park are obtained for simulations 6, 8 and 10).

Tabela 9. Przewidywana masowa koncentracja dymu na wysokości 1,8 m od poziomu posadzki [0,00-0,20 g/m³] w trzysetnej sekundzie symulacji; Garaż 2

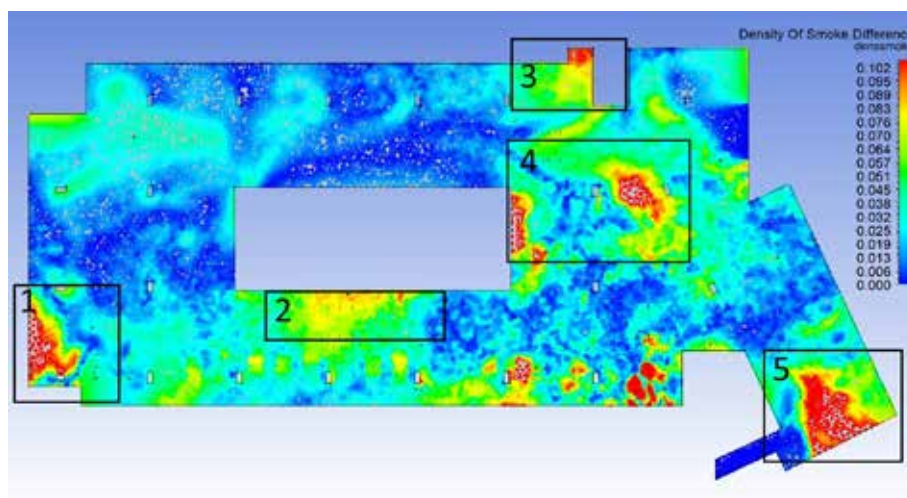
Table 9. The expected mass concentration of smoke at a height of 1.8 m from the floor level [0.00–0.20 g/m³] in the 300th second of the simulation; Car park No. 2





Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

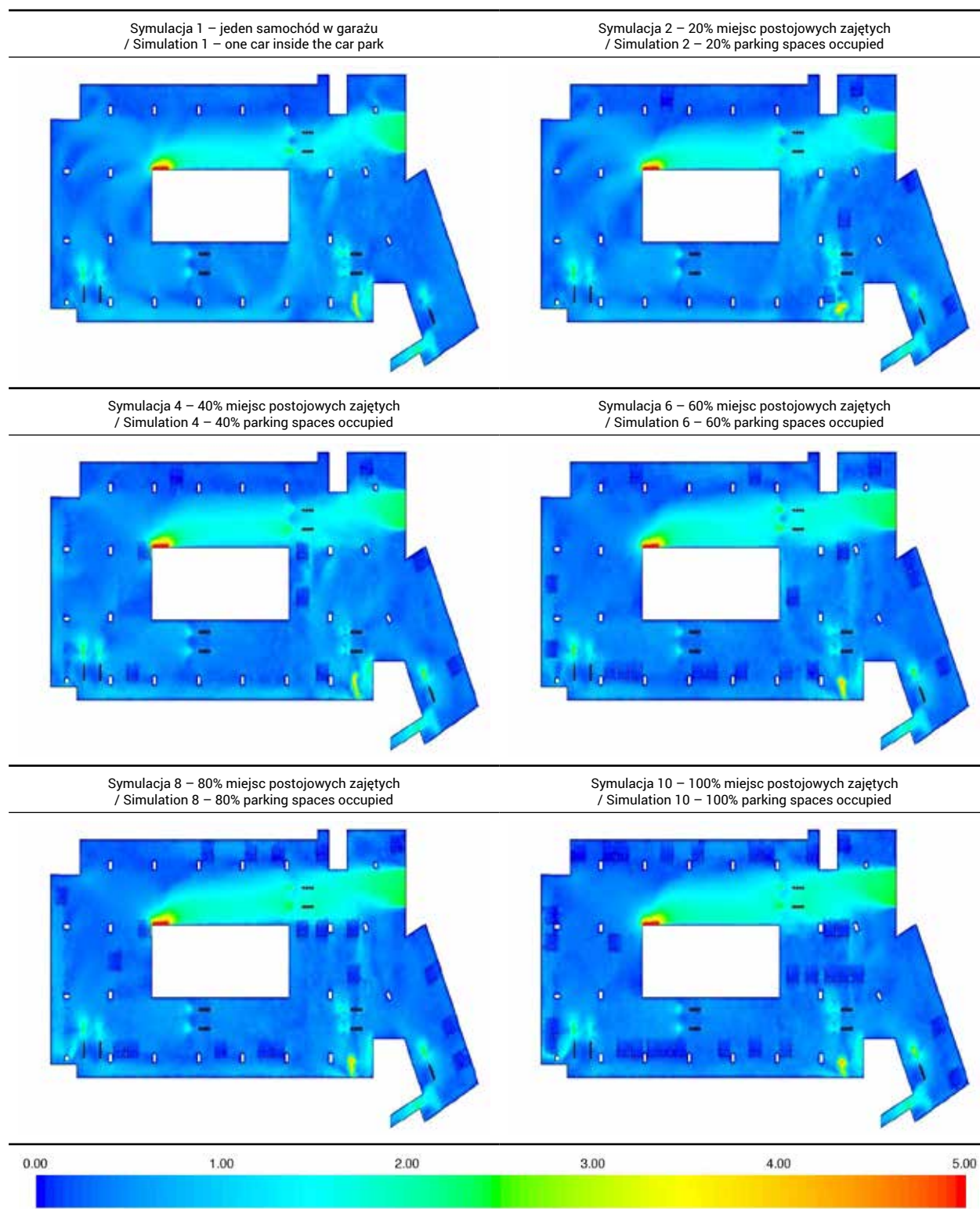


Rycina 7. Różnice w masowej koncentracji dymu $[g/m^3]$ pomiędzy symulacją nr 1 a 10

Figure 7. Differences in the mass concentration of smoke $[g/m^3]$ between simulations 1 and 10

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 10. Przewidywane pole prędkości na wysokości 1,8 m od posadzki [0–5 m/s] w trzysetnej sekundzie symulacji; Garaż 2**Table 10.** The expected velocity field at a height of 1.8 m from the floor level [0–0.5 m/s] in the 300th second of the simulation; Car park No. 2

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Rozwój pożaru wg krzywej at^2 (chwilowa moc pożaru w trzysetnej sekundzie: 4,2 MW)

Różnice w wynikach między trzema obliczonymi symulacjami można zaobserwować w prawym górnym rogu garażu. Widać tam, że dla symulacji nr 3 wartość masowej koncentracji dymu waha się od 0,07 do 0,11 g/m³. W analogicznym obszarze w symulacji nr 1 koncentracja dymu wynosi w tym miejscu ok. 0,2 g/m³. Oprócz tego, rozbieżności w wynikach pojawiają się zwłaszcza w okolicy trzonu – po lewej jego stronie oraz poniżej.

Dla pola temperatury różnice w wynikach można zauważyć w obszarze poniżej trzonu budynku – rozbieżności pomiędzy symulacjami nr 1 a 10 mogą dochodzić w tym miejscu nawet do ok. 40°C.

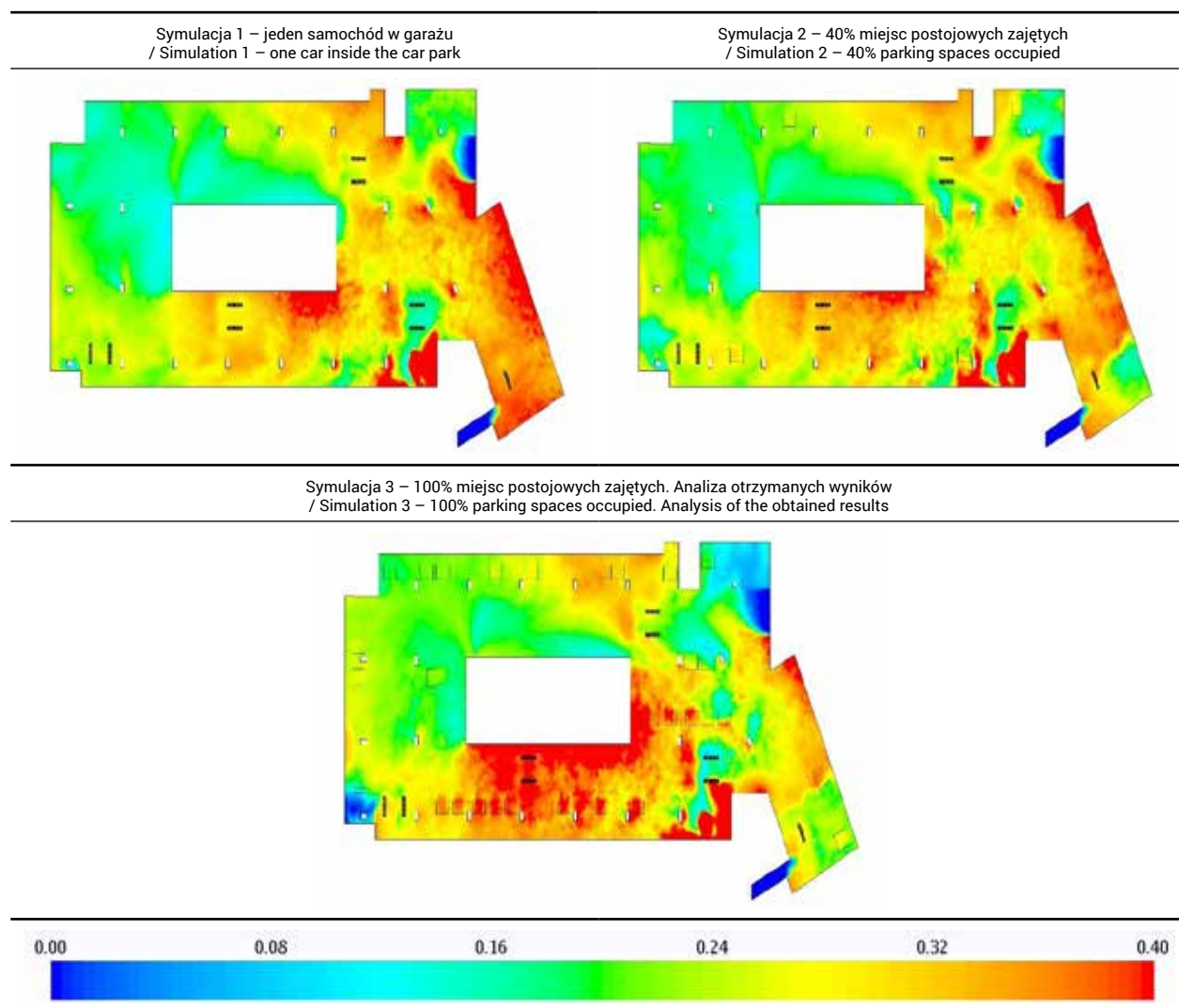
Fire development according to the at^2 curve (transient heat release rate in the 300th second: 4.2 MW)

The differences in results between the three computed simulations can be observed in the upper right corner of the car park. It can be seen that for simulation 3 the value of the mass concentration of smoke varies between 0.07 and 0.11 g/m³. Within the same area in simulation 1 the concentration of smoke in this location is ca. 0.2 g/m³. In addition, the differences in results appear especially near the building's core – to its left and below.

For the temperature field, the differences in results can be observed in the area below the building's core – the differences between simulations 1 and 10 might reach ca. 40°C in this location.

Tabela 11. Przewidywana masowa koncentracja dymu na wysokości 1,8 m od poziomu posadzki [0,00–0,40 g/m³] w trzysetnej sekundzie symulacji; Garaż 2

Table 11. The expected mass concentration of smoke at a height of 1.8 m from the floor level [0.00–0.40 g/m³] in the 300th second of the simulation; Car park No. 2



Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wnioski

W niniejszej pracy przeanalizowano wpływ zaparkowanych pojazdów na rozprzestrzenianie się dymu i gorących gazów pożarowych w garażu. W pracy przedstawiono dwa odmienne modele zamkniętych parkingów podziemnych z obliczeniami numerycznymi dla różnych mocy pożaru: 1,4 MW i 4,2 MW. Na podstawie analizy wykonanych symulacji można zauważyć, że wielkości powstałych zawirowań powietrza w garażu (których średnica znacząco przekracza wysokość garażu) i wysoka prędkość przepływu w tych zawirowaniach mają istotny wpływ na masową koncentrację dymu w analizowanym obszarze. W przypadku pola temperatur różnice pomiędzy symulacjami zakładającymi różny stopień zajętości stanowisk parkingowych są w przeważającej większości obliczeń na tyle małe dla trzysetnej sekundy od momentu zainicjowania pożaru, że nie miałyby wpływu na analizę ewakuacji osób z zagrożonej przestrzeni. W przeprowadzonych obliczeniach zaobserwowano również, że w przypadku scenariuszy z taką samą istotny wpływ na sposób oceny ma fakt, w jakim miejscu zostaje ukształtowana główna struga powietrza dopływająca z szachtu nawiewnego do wyciągowego. Jeżeli struga ta napotyka na swojej drodze przeszkody w postaci pojazdów o różnej wielkości lub kształcie, wtedy znacznie wzrastają rozbieżności pomiędzy analizowanymi scenariuszami, na przykład w masowej koncentracji dymu w przestrzeni garażu.

W przypadku garaży o skomplikowanym kształcie lub garaży niskich (poniżej 2,9 lub z licznymi lokalnymi obniżeniami poniżej 2,7 m, np. jak w garażu nr 2) rekomenduje się wykonanie dodatkowych obliczeń numerycznych uwzględniających różną liczbę pojazdów i ich lokalizację w przestrzeni garażu. Dodatkowe symulacje można ograniczyć do przypadków, w których zajętość miejsc parkingowych w garażu będzie wynosiła 0% (tylko samochód, z którego inicjowany jest pożar), 40–50% i 100%. Podane procentowe obciążenie stanowisk wynika z przeanalizowanych serii obliczeń i sytuacji, gdy różnice w wynikach były najbardziej zauważalne i istotne w procesie oceny.

Różnice w wynikach pomiędzy scenariuszami będą większe, gdy pożar będzie się rozwijał z większą mocą i w rezultacie wydzielili się więcej dymu i ciepła w przestrzeni garażu. Dlatego istotne jest, by w takim przypadku, przed przystąpieniem do obliczeń numerycznych, dokonać oceny ryzyka wpływu zajętości miejsc postojowych na wyniki końcowe. Z przedstawionych w niniejszym opracowaniu symulacji wynika, że już przy pożarach rzędu 1,4 MW w początkowej fazie rozwoju pożaru istotnie mogą zmieniać się warunki panujące w garażu.

W sytuacji, gdy prędkości na kratkach nawiewu mechanicznego wynoszą ponad 2,5 m/s, a w najbliższej okolicy szachtu kompensacyjnego znajdują się zaparkowane pojazdy, wówczas obliczenia numeryczne należałoby wykonać dla pustego garażu, jak również dla scenariusza z samochodami zaparkowanymi w tych niewralgicznych punktach. Uzyskane z takiej serii obliczeń wyniki mogą się znacząco różnić, więc zasadne jest by uwzględniać tego rodzaju przypadki w analizach.

Badania dotyczące wpływu przeszkód na końcowe wyniki symulacji CFD będą kontynuowane. Kolejnym etapem prac

Conclusions

This paper analyses the influence of parked vehicles on the spread of smoke and hot fire gases in an indoor car park. The study presents two different models of enclosed underground car parks with numerical models for various heat release rates: 1.4 MW and 4.2 MW. An analysis of the simulations performed demonstrates that the values of the air turbulences generated in the car park (with diameters by far exceeding the height of the car park) and the high flow velocity in these turbulences, have a significant effect on the mass concentration of smoke in the studied area. For the temperature field, the differences between simulations adopting different occupancy rates of parking spaces are so small for the vast majority of calculations in the 300th second after ignition that they would have no effect on the analysis of evacuation of people from the danger area. The calculations performed also demonstrated that for scenarios with the same occupancy rate, the assessment method is highly influenced by the location where the main air stream from the air supply duct to the exhaust duct is formed. If the air stream encounters obstacles in the form of vehicles of various sizes or shapes, then the differences between the analysed scenarios become more exaggerated, for example in terms of the mass concentration of smoke in the car park area.

For car parks with a complex shape or low car parks (below 2.9 m or with various local drops below 2.7 m, such as in car park No. 2) it is recommended to perform additional numerical calculations taking into account various numbers of cars and their locations in the car park area. Additional simulations may be limited to cases where the occupancy rate of parking spaces in the car park is 0% (only the car in which the ignition source is located), 40–50% and 100%. The said percentage occupancy rates for parking spaces are based on the analysed series of calculations and situations where the differences in results were the most noticeable and significant in the assessment process.

Differences in results across scenarios will be greater if the fire develops with a higher heat release rate and as a result more smoke and heat is generated within the indoor car park. For this reason, it is important to assess the risk of the influence of occupancy rates on the final results prior to performing the numerical calculations. The simulations presented in this study demonstrate that for fire sizes starting from 1.4 MW at the early stage of fire development, the conditions present in the car park may be subject to significant changes.

Where the velocities at mechanical air supply grilles exceed 2.5 m/s and vehicles are parked in the close vicinity of the compensation inlet, the numerical calculations should be performed for an empty car park, as well as for a scenario with cars parked in critical locations. The results obtained in such a series of calculations may differ significantly, so it is reasonable to include such cases in the analyses.

Studies of the influence of obstacles on the final results of CFD simulations will be continued. The next stage will be to verify temperature fields during a rescue and firefighting operation, as well as to analyse the situation in indoor car parks with

będzie m.in. weryfikacja pól temperatur w czasie prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczej, jak również analiza sytuacji w garażach z zaprojektowaną instalacją oddymiającą kanałową. Dodatkowo zostaną sprawdzone scenariusze, w których występuje np.: tylko jeden rodzaj pojazdów. Jest to konieczne do oceny wpływu wielkości typu pojazdu na uzyskane wyniki.

Artykuł został opracowany w ramach prac statutowych ITB nr NZP-115.

a duct-based smoke exhaust system. In addition, scenarios with, e.g. only one type of vehicles will be studied. This is necessary for the assessment of the influence of vehicle type (size) on the obtained results.

The article was written within statute works of Building Research Institute No. NZP-115.

Literatura / Literature

- [1] Węgrzyński W., Tofiło P., Porowski R., *Hand calculations, zone models and CFD – areas of disagreement and limits of application in practical fire protection engineering*, SFPE 11th Conference on Performance – Codes and Fire Safety Design Methods, 2016, DOI: 10.13140/RG.2.1.4974.3604.
- [2] Hurley M.J., Gottuk D.T., Hall J.R., Harada K., Kuligowski E.D., M. Puchovsky, Torero J.L., Watts J.M., Wieczorek C.J. (red.), *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 5th ed.*, Springer New York, New York 2016, doi:10.1007/978-1-4939-2565-0.
- [3] Report BD2552 Fire Spread in Car Parks, Building Research Establishment, 2009, 2010.
- [4] Joyeux D., Kruppa J., Cajot L.-G., Schleich J.-B., van de Leur P., Twilt L., *Demonstration of real fire tests in car parks and high buildings*, Final Report, Komisja Europejska Luksemburg, 2002.
- [5] Janssens M.L., *Development of a database of full-scale calorimeter tests of motor vehicle burns*, Southwest Research Institute, USA 2008.
- [6] Collier P.C.R., *Car Parks – Fires Involving Modern Cars and Stacking Systems*, BRANZ Study Report, 2011.
- [7] Tilley N., Deckers X., Merci B., *CFD study of relation between ventilation velocity and smoke backlayering distance in large closed car parks*, "Fire Safety Journal" 2012, 48.
- [8] Deckers X., Haga S., Tilley N., Merci B., *Smoke control in case of fire in a large car park: CFD simulations of full-scale configurations*, "Fire Safety Journal" 2013, 57, 22–34, <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2012.02.005>.
- [9] Partanen M., Heinisuo M., *Car fires with sprinklers: a study on the Eurocode for sprinklers*, [w:] *Proceedings of International Conference in Prague 19-20 April 2013 Application of Structural Fire Engineering*, F. Wald, I. Burgess, K. Horova T., Jana, J. Jirku (red.), Czech Technical University in Prague, Prague 2013.
- [10] Halada L., Weisenpacher P., Glasa J., *Computer Modelling of Automobile Fires*, [w:] *Advances in Modelling of Fluid Dynamics*, 2012, <http://dx.doi.org/10.5772/48600>.
- [11] BS 7346-7: Components for smoke and heat control systems. Code of practice on functional recommendations and calculation methods for smoke and heat control systems for covered car parks.
- [12] Magnusson S.E., *Risk Assessment*, [w:] *Fire Safety Science – Proceedings of the Fifth International Symposium*, Y. Hasemi, 1997, 41–58.
- [13] Tohir M.Z.M., Spearpoint M., *Development of fire scenarios for car parking buildings using risk analysis*, [w:] *Fire Safety Science – Proceedings of the Eleventh International Symposium*, 2014, 944–957.
- [14] The International Council on Clean Transportation, *European Vehicle Market Statistics Pocketbook 2016/17*, Berlin 2016.
- [15] Case No COMP/M.1406 – HYUNDAI / KIA, Regulation (EEC) no 4064/89 Merger procedure, 17.03.1999.
- [16] NEN 6098:2012 Rookbeheersingssystemen voor mechanisch geventileerde parkeergarages, 2012.
- [17] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie, wraz z późniejszymi zmianami (Dz.U. 2002 Nr 75, poz. 690).
- [18] Węgrzyński W., Konecki M., *Influence of the fire location and the size of a compartment on the heat and smoke flow out of the compartment*, [w:] AIP Conf. Proc. 1922 (2018), 110007, <http://dx.doi.org/10.1063/1.5019110>.
- [19] ANSYS, ANSYS Fluent 14.5.0 – Technical Documentation, 2014.
- [20] Krajewski G., Węgrzyński W., *The use of Fire safety Engineering in the design and commissioning of car Park Fire ventilation systems*, BiTP Vol. 36 Issue 4, 2014, <http://dx.doi.org/10.12845/bitp.36.4.2014.15>.
- [21] Węgrzyński W., Krajewski G., *Systemy wentylacji pożarowej garaży*, [w:] *Projektowanie, ocena, odbiór nr 493/2015*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2015.
- [22] Węgrzyński W., Vigne G., *Experimental and numerical evaluation of the influence of the soot yield on the visibility in smoke in CFD analysis*, "Fire Saf. J." (2017) 91, 389–398, doi:10.1016/j.firesaf.2017.03.053.

MGR INŻ. PRZEMYSŁAW SUCHY – specjalizuje się w wentylacji pożarowej garaży oraz w metodach probabilistycznych w bezpieczeństwie pożarowym. Ekspert w modelowaniu przepływów w skomplikowanych układach wentylacyjnych oraz optymalizacji scenariuszy działania systemów wentylacji pożarowej.

DR INŻ. WOJCIECH WĘGRZYŃSKI – specjalizuje się w dużych obiektach handlowych oraz tunelach komunikacyjnych. Ekspert w zakresie wpływu elementów architektury budynków na przepływ dymu. Międzynarodowy instruktor stowarzyszenia SFPE w zakresie zaawansowanych analiz CFD w programie FDS. Zainteresowania naukowe: przepływ dymu w obiektach budowlanych, modelowanie widzialności w dymie, uwzględnienie warunków atmosferycznych w modelowaniu pożarów oraz optymalizacja systemów wentylacji pożarowej. Członek komitetów normalizacyjnych CEN TC191/SC1/WG 5 i WG 9.

PRZEMYSŁAW SUCHY, M.SC. ENG. – specialises in the fire ventilation of indoor car parks and in using probabilistic methods for fire safety applications. Expert in flow modelling for complex ventilation configurations and in optimising scenarios for the operation of fire ventilation systems.

WOJCIECH WĘGRZYŃSKI, PH.D. ENG. – specialises in large commercial buildings and transport tunnels. Expert in the field of assessing the impact of a building's architectural elements on smoke flow. International SFPE instructor of advanced CDF analysis using the FDS software. Scientific interests: smoke flow in civil structures, modelling visibility in smoke, adjusting for weather conditions in fire modelling and optimising fire ventilation systems. Member of the CEN TC191/SC1/WG 5 and WG 9 standardisation committees.



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.

bryg. dr hab. inż. Rafał Porowski^{a,c)*}, mł. kpt. inż. Paweł Bańkowski^{b)},
mł. bryg. mgr inż. Wojciech Klapsa^{c)}, mgr inż. Mariola Starzomska^{a)}, mgr inż. Artur Więckowski^{a)}

^{a)}Wydział Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki, Politechnika Świętokrzyska / Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology

^{b)}Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego, Szkoła Główna Służby Pożarniczej / Faculty of Fire Protection Engineering, Main School of Fire Service

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

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

Modelowanie CFD wentylacji pożarowej w tunelu drogowym

CFD Modelling of Fire Ventilation in Road Tunnels

CFD-моделирование пожарной вентиляции в автомобильном тоннеле

ABSTRAKT

Cel: Celem pracy było wykonanie symulacji numerycznej rozwoju pożaru w tunelu drogowym za pomocą programu Fire Dynamics Simulator. Na tej podstawie została dokonana analiza wpływu mocy źródła pożaru na efektywność działania systemu wentylacji pożarowej. W pierwszej części artykułu przedstawiono zagadnienia związane z rozwojem pożaru. Skupiono się na aspektach teoretycznych parametrów, takich jak: rozchodzenie się dymu, rozwój pożaru, widzialność, szybkość wydzielania ciepła oraz temperatura maksymalna. Systemy wentylacji pożarowej, które są stosowane w tunelach drogowych zostały przedstawione na schematach, a także omówione zostały zasady ich działania. Kolejną część artykułu poświęcono przedstawieniu podstaw teoretycznych programu Fire Dynamics Simulator. Ostatnia część pracy zawiera opis przeprowadzonych badań oraz analizę i porównanie wyników. W części badawczej wykonano symulacje czterech scenariuszy, w zależności od mocy pożaru. Zebrane dane zostały poddane analizie. Sprawdzono, jak zachowuje się pożar w przestrzeni zamkniętej w zależności od mocy jego źródła. Dodatkowo przetestowano efektywność działania zastosowanego systemu wentylacji. Łącznie wykonano symulacje numeryczne z mocami pożaru: 202 MW, 157 MW, 119 MW oraz 67 MW.

Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie przeglądu literatury i dostępnych w niej wyników prac naukowych dotyczących dynamiki zjawiska pożaru w tunelach drogowych, jak również badań numerycznych CFD w programie Fire Dynamics Simulator.

Wnioski: Na podstawie wykonanych badań numerycznych przybliżono zjawiska, jakie zachodzą w trakcie pożaru w tunelu drogowym. Otrzymane dane można analizować i interpretować, wyciągając przy tym wnioski, które mogą zwiększyć bezpieczeństwo w tunelach. Jednym z najważniejszych aspektów, który ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ludzi podczas pożaru jest dobór odpowiedniego systemu wentylacji. Na rynku istnieje wiele rozwiązań systemowych, posiadających zarówno wady, jak i zalety. W badanych przypadkach wykorzystano wentylację wzdłużną wraz z dwoma wentylatorami wywiewnymi. Wentylacja wzdłużna wytwarzała przepływ powietrza o prędkości 2 m/s w całym przekroju tunelu. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że przepływ powietrza o prędkości 2 m/s ogranicza rozprzestrzenianie się ciepła na wysokości 1,8 m od poziomu podłoża tunelu, niezależnie od mocy pożarów przyjętych w badaniach. Najwcześniej temperatura zaczęła wzrastać dla pożaru o mocy 119 MW, a najpóźniej dla pożaru o mocy 67 MW. W dalszych częściach tunelu temperatura zmieniała się w wąskim zakresie i nie przekroczyła 22°C. Temperatura nad źródłem dochodziła do wartości 700°C, natomiast za centrum pożaru maksymalna temperatura wynosiła około 1200°C.

Słowa kluczowe: wentylacja pożarowa, pożary w tunelach drogowych, modelowanie pożarów

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 05.12.2018; Zrecenzowany: 11.12.2018; Zatwierdzony: 21.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: R. Porowski – 0000-0001-7912-4222; W. Klapsa – 0000-0002-6481-587X;

Procentowy wkład merytoryczny: R. Porowski – 40%; P. Bańkowski – 30%; W. Klapsa – 10%; M. Starzomska – 10%; A. Więckowski – 10%;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 140–166, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.9>;

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

ABSTRACT

Aim: The purpose of this work was to perform numerical simulation of fire development in a road tunnel using the Fire Dynamics Simulator (FDS) programme. On this basis, an analysis of the impact of the fire source's power on the effectiveness of the fire ventilation system was performed. The first stage of the work presents issues related to fire development. The focus was on presenting the theoretical part of the parameters, such as smoke propagation, fire development, visibility, heat release rate and maximum temperature. The next stage of the article focuses on presenting the theoretical foundations about the Fire Dynamics Simulator program. The last stage of the work contains a description of the conducted research, as well as the

analysis and comparison of results. In the research part, simulations of 4 scenarios were carried out, depending on the fire power. The collected data was analysed and conclusions were drawn. It was checked how a fire in a confined space behaves depending on the power of the source. In addition, the effectiveness of the ventilation system used was tested.

Introduction: Numerical simulations are used to improve fire safety in road tunnels. Numerical calculations allow to assess the suitability of the fire protection systems used. One such programme is the Fire Dynamics Simulator, which was discussed at work. In addition, theoretical issues related to fire development were presented. Issues such as maximum temperature, visibility, the process of smoke propagation and the power of fire were raised. Fire ventilation systems that are used in road tunnels are presented in the diagrams, along with the principles of their operation discussed. In total, numerical simulations with fire performance were performed: 202 MW, 157 MW, 119 MW and 67 MW.

Methodology: The article was compiled on the basis of the review of literature available in the publications of the results of scientific works on the dynamics of the fire phenomenon in road tunnels, as well as numerical CFD studies in the Fire Dynamics Simulator program.

Conclusions: Based on the numerical tests carried out, the phenomena that occur during a fire in a road tunnel are approximated. The data received can be analysed and interpreted, and conclusions can be drawn to increase safety in tunnels. One of the most important aspects that has a direct impact on the safety of people during a fire is the selection of an appropriate ventilation system. There are many system solutions on the market that have both pros and cons. In the cases studied, longitudinal ventilation was used along with two exhaust fans. Longitudinal ventilation generated airflow at the velocity of 2 m / s in the entire tunnel cross-section. Based on the obtained results, it can be concluded that the airflow rate of 2 m / s limits the spread of heat at a height of 1.8 m from the ground level of the tunnel, regardless of the power of fires adopted in the tests. The earliest temperature increase occurred for a 119 MW fire, and at the latest for a fire of 67 MW. In the further parts of the tunnel, the temperature changed in a narrow range and did not exceed 22°C. The temperature over the source reached 700°C, while the centre of the fire reached the maximum temperature of 1200°C.

Keywords: fire ventilation, fires in road tunnels, fire modelling

Type of article: original scientific article

Received: 05.12.2018; Reviewed: 11.12.2018; Accepted: 21.12.2018;

Authors' ORCID IDs: R. Porowski – 0000-0001-7912-4222; W. Klapsa – 0000-0002-6481-587X;

Percentage contribution: R. Porowski – 40%; P. Bańkowski – 30%; W. Klapsa – 10%; M. Starzomska – 10%; A. Więckowski – 10%;

Please cite as: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 140–166, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.9>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью работы было выполнение численного моделирования развития пожара в автомобильном тоннеле с использованием программы Fire Dynamics Simulator. На этой основе был проведен анализ влияния силы источника пожара на эффективность системы пожарной вентиляции. В первой части работы представлены вопросы, связанные с развитием пожара. Основное внимание было уделено аспектам теоретических параметров, таких как: распространение дыма, развитие огня, видимость, скорость тепловыделения и максимальная температура. Системы пожарной вентиляции, которые используются в автодорожных туннелях, представлены на схемах, а также оговорены принципы их работы. Следующая часть статьи посвящена изложению теоретических основ программы Fire Dynamics Simulator. Последняя часть работы содержит описание проведенного исследования, а также анализ и сравнение результатов. В исследовательской части были смоделированы четыре сценария, в зависимости от силы пожара. Были проанализированы собранные данные. Пожар в замкнутом пространстве проверялся в зависимости от мощности его источника, кроме того, проверялась эффективность системы вентиляции. Всего было проведено численное моделирование со следующими характеристиками пожара: 202 МВт, 157 МВт, 119 МВт и 67 МВт.

Методология: Статья разработана на основе литературного обзора имеющихся результатов научных исследований динамики пожаров в автодорожных туннелях, а также численных исследований CFD в программе Fire Dynamics Simulator.

Выводы: На основании проведенных численных испытаний были смоделированы похожие явления, возникающие при пожаре в автодорожном тоннеле. Полученные данные можно анализировать и интерпретировать, делая выводы, которые могут повысить безопасность в туннелях. Одним из наиболее важных аспектов, который напрямую влияет на безопасность людей во время пожара, является выбор подходящей системы вентиляции. На рынке существует множество системных решений, которые имеют как преимущества, так и недостатки. В изученных случаях использовалась продольная вентиляция вместе с двумя вытяжными вентиляторами. При продольной вентиляции создавался поток воздуха со скоростью 2 м/сек по всему поперечному сечению туннеля. На основании полученных результатов можно сделать вывод, что скорость воздушного потока 2 м/сек ограничивает распространение тепла на высоте 1,8 м от уровня земли в туннеле независимо от силы пожара, принятой в ходе испытаний. Быстрее всего началось повышение температуры при пожаре 119 МВт, а самое позднее повышение температуры произошло при пожаре 67 МВт. В дальних частях туннеля температура изменялась в узком диапазоне и не превышала 22°C. Температура над источником достигала 700°C, а очаг пожара достигал максимальной температуры 1200°C.

Ключевые слова: пожарная вентиляция, пожары в автодорожных туннелях, моделирование пожаров

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 05.12.2018; Рецензирована: 11.12.2018; Одобрена: 21.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: R. Porowski – 0000-0001-7912-4222; W. Klapsa – 0000-0002-6481-587X;

Процентное участие в подготовке статьи: R. Porowski – 40%; P. Bańkowski – 30%; W. Klapsa – 10%; M. Starzomska – 10%; A. Więckowski – 10%;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 140–166, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.9>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Pożar w tunelu drogowym to bardzo niebezpieczne zjawisko. Nagromadzenie na małej przestrzeni potencjalnych materiałów palnych, ograniczone możliwości usuwania dymu i gorących gazów pożarowych, utrudnione dotarcie do dróg ucieczki, a także źle dobrane systemy wentylacji to tylko nieliczne czynniki zagrażające bezpieczeństwu użytkowników tuneli drogowych. Dynamika rozwoju pożaru w tunelu znacznie różni się od tej na przestrzeni otwartej. Ograniczona przestrzeń sprzyja szybkiemu gromadzeniu się dymu, co skutkuje zmniejszeniem widoczności. W takich warunkach użytkownicy obiektu mogą nie odnaleźć drogi ewakuacyjnej lub drogi ucieczki. Dodatkowo wysoka temperatura powoduje szybkie rozprzestrzenianie się ognia na kolejne materiały palne znajdujące się w pobliżu źródła pożaru. Źle dobrana wentylacja może nasilać to zjawisko, a także wywoływać efekt mieszania się warstw dymu. Skutkiem mieszania się warstw dymu ze świeżym powietrzem będzie ograniczenie widoczności. W celu poznania, w jaki sposób pożar rozwija się w tunelach drogowych, wykonuje się badania. Eksperymenty mogą przybrać różne formy. Najwięcej danych można uzyskać za pomocą testów przeprowadzanych w skali 1:1. Wykonywane są także badania w mniejszych skalach. Aby oszacować konkretny parametr, można posłużyć się specjalnie opracowanymi wzorami. Obliczenia bazują na podstawowych parametrach pożaru. Należą do nich między innymi moc pożaru, powierzchnia palącego się materiału oraz ciepło spalania.

Rozwój pożaru w tunelu drogowym

Pożary w tunelach drogowych znacznie różnią się od pożarów w typowych budynkach, np. mieszkaniowych lub użyteczności publicznej. Ograniczony dostęp świeżego powietrza, jak również niewielka kubatura, w której przebiega proces spalania wybranych materiałów oraz wyrobów budowlanych, może powodować generację ciepła oraz toksycznych produktów spalania. Dodatkowo na niewielkiej powierzchni zgromadzone są materiały palne, na które pożar może się z łatwością rozprzestrzeniać. Wykorzystane systemy wentylacji pożarowej mają więc znaczący wpływ na rozwój dynamiki tego zjawiska. Sprawne usuwanie dymu oraz gorących gazów pożarowych ma kluczowe znaczenie w ograniczeniu rozprzestrzeniania się pożaru i w przeprowadzeniu efektywnych działań ratowniczo-gaśniczych. Do prawidłowej oceny dynamiki rozwoju pożaru w tunelu wykorzystuje się parametry opisujące to zjawisko. Jednym z nich jest tworzenie się i zaleganie w tunelu warstw dymu. Tworzenie się warstwy dymu zależy między innymi od prędkości przepływu powietrza, a także od siły wyporu, która powstaje w wyniku procesu spalania materiałów palnych [1]. Dym składa się w ogólnym podejściu z toksycznych produktów spalania oraz świeżego powietrza. W procesie spalania następuje ogrzewanie dymu. Dzięki siłom wyporu gorący dym zostaje przetransportowany w górne strefy tunelu. W pierwszych etapach rozwoju pożaru odnotowuje się duże stężenie gazowych produktów spalania w strefie podsufitowej. Najczęściej występującymi gazami w atmosferze

Introduction

Fires in road tunnels are extremely dangerous event. The accumulation of potentially combustible materials in a small space, limited possibilities of removing smoke and hot fire gases, inhibited access to escape routes, and poorly selected ventilation systems are among the factors which threaten the safety of road tunnel users. The fire development dynamics in a tunnel differs significantly from the one in open spaces. A confined space results in the quick accumulation of smoke which reduces visibility. Under such conditions, the facility users may not find the evacuation or escape route. In addition, high temperature results in the rapid spread of fire to other combustible materials near the fire source. An ill-matched ventilation system can intensify this phenomenon and cause smoke layers to mix up. The mixing of smoke layers with fresh air result in limited visibility. Tests are conducted to identify how fires can spread in road tunnels. These experiments can take various forms. Most data can be obtained from 1:1 tests. Smaller-scale tests are also carried out. In order to estimate a given parameter, one can use specially developed formulas. Such calculations are based on the underlying parameters of a fire which include the heat release rate, the area of material on fire, and the heat of combustion.

Fire development in a road tunnel

Fires in road tunnels differ significantly from those in regular buildings, such as residential or public buildings. The limited amount of fresh air, as well as small cubage in which the combustion of selected materials and building materials takes place, may result in the generation of heat and toxic combustion products. In addition, in the case of tunnels, flammable materials are located within a small area and the fire can easily spread onto them. Therefore, the fire ventilation systems used significantly influence the dynamics of this phenomenon. Effective removal of smoke and hot fire gases is of key significance in limiting the spread of the fire, and in the performance of effective rescue and firefighting operations. In order to accurately evaluate the dynamics of the fire spread inside a tunnel, one can use certain parameters which describe this phenomenon. One of these is the emergence and lingering of smoke layers inside the tunnel. The creation of the layer of smoke depends on air movement velocity and on the buoyant force resulting from the combustion of flammable materials [1]. Smoke is generally composed of toxic products of combustion and fresh air. During the combustion process, smoke is heated up. Through the buoyant force, hot smoke is transported to the upper segments of the tunnel. In the first stages of fire development, a high concentration of gaseous combustion products can be recorded in the ceiling zone. The most common gases in a fire atmosphere, which pose a threat

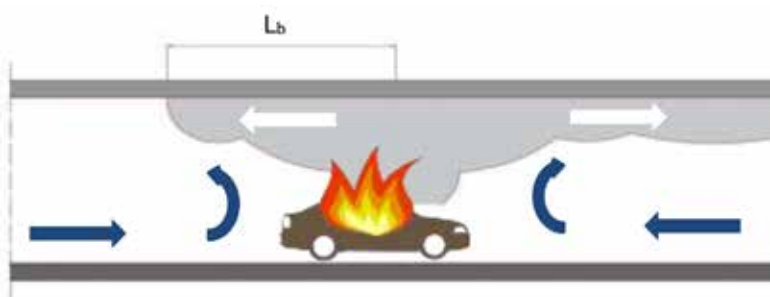
pożarowej, które stwarzają zagrożenie dla człowieka są: tlenek węgla, cyjanowodór, chlorowodór, tlenki siarki, tlenki azotu oraz bromowodór [2–3]. Na rycinie 1 pokazano sposób rozchodzenia się dymu przy prędkościach przepływu powietrza od 0 do 1 m/s. Przepływ lotnej fazy gazowej, powstałej w wyniku spalania, nie jest niczym wymuszony. Działają na ten przepływ tylko i wyłącznie siły wyporu powietrza z kolumny konwekcyjnej pożaru. Skutkuje to przemieszczaniem się dymu w obu kierunkach. Nad źródłem pożaru występuje bardzo wyraźne oddzielenie pomiędzy warstwami dymu.



Rycina 1. Przemieszczanie się warstwy dymu przy prędkościach 0–1 m/s [1]

Figure 1. Smoke layer movement with a velocity between 0–1 m/s [1]

Wymuszenie kierunku przepływu dymu nastąpi wówczas, gdy prędkość przepływu powietrza znajdować się będzie w przedziale 1–3 m/s. Nienaturalny napływ mas świeżego powietrza będzie powodował zatem ruch dymu w kierunku zgodnym z kierunkiem przepływu powietrza. Pozostała część poruszać się będzie w przeciwną stronę. Zjawisko to nazywa się *backlayering* [3] i zostało zilustrowane na rycinie 2. Jest ono szczególnie niebezpieczne z uwagi na ograniczanie widzialności. Przy niewielkim zakresie widzenia ludzie mogą nie odnaleźć drogi ewakuacyjnej. Dodatkowo wraz z dymem rozprzestrzeniają się toksyczne gazy, będące główną przyczyną śmierci osób przebywających w tunelu podczas pożaru. Szacuje się, że dla prędkości przepływu powietrza od 1 do 3 m/s rozpiętość cofającego się dymu może być do 25 razy większa niż wysokość tunelu. W wyniku oddziaływania napływającego powietrza następuje mieszanie się warstw dymu [1].



Rycina 2. Przemieszczanie się warstwy dymu przy prędkościach 1–3 m/s [1]

Figure 2. Smoke layer movement with a velocity between 1–3 m/s [1]

Przedstawiony na rycinie 2 parametr L_b jest to odcinek dymu, który porusza się w kierunku przeciwnym, pomimo wymuszonego ruchu świeżego powietrza. Długość tego odcinka oblicza się na podstawie równania (1) [3]:

to human life, are carbon monoxide, hydrogen cyanide, hydrogen chloride, sulphur oxides, nitrogen oxides and hydrogen bromide [2–3]. Figure 1 presents the manner of smoke propagation with air velocity between 0–1 m/s. The flow of the volatile gas phase resulting from combustion is not forced in any way. This flow is influenced solely by the buoyant force of the air from the fire convection column. This results in smoke movement in both directions. Above the fire source, there is a clear division between the layers of smoke.

The smoke flow direction can be forced when the airflow velocity is within the range of 1–3 m/s. An unnatural inflow of fresh air will, therefore, result in the movement of smoke in the direction of fresh airflow while the remaining part will move in the opposite direction. This phenomenon is referred to as *backlayering* [3]. It is presented in Figure 2 and is especially dangerous due to limited visibility. With limited visibility, people may not find the evacuation route. In addition, the smoke carries toxic gases which constitute the main cause of death of individuals who are inside the tunnel during the fire. It is estimated that, for airflows with a velocity of 1–3 m/s, the span of backlayering can be up to 25 times greater than the height of the tunnel. As a result of the inflowing air, the layers of smoke mix up [1].

Parameter L_b presented in Figure 2 is a section of smoke moving in the opposite direction despite the forced movement of fresh air. The length of this section is calculated using formula (1) [3]:

$$L_b^* = \frac{L_b}{H} = 0,6 \left(\frac{2gHQ}{\rho_0 T_0 c_p u_0^3 A} - 5 \right) \quad (1)$$

gdzie:

L_b^* – bezwymiarowa długość odcinka cofającego się dymu;

L_b – długość odcinka cofającego się dymu, [m];

H – wysokość tunelu, [m];

Q – moc pożaru, [kW];

ρ_0 – gęstość ośrodka, [kg/m³];

T_0 – temperatura powietrza, [K];

u_0 – lokalne przyspieszenie przepływu powietrza, [m/s²];

c_p – ciepło właściwe powietrza, [kJ/(kg·K)];

g – przyspieszenie ziemskie, [m/s²];

A – powierzchnia przekroju, [m²]

Równanie opisujące bezwymiarową długość odcinka cofającego się dymu można również zapisać w zależności od bezwymiarowej szybkości wydzielania ciepła w następującej postaci algebraicznej [4]:

$$L_b^* = \begin{cases} 18,5 \ln \frac{0,81 Q^{*1/3}}{u^*}, & Q^* \leq 0,15 \\ 18,5 \ln \frac{0,43}{u^*}, & Q^* > 0,15 \end{cases} \quad (2)$$

gdzie:

L_b^* – bezwymiarowa długość odcinka cofającego się dymu;

Q^* – bezwymiarowa moc pożaru;

u^* – prędkość wzdłużnego przepływu powietrza, [m/s].

Biorąc pod uwagę bezpieczną ewakuację osób, jak również sprawne oraz efektywne dotarcie ekip ratowniczych do miejsca pożaru, należy wyznaczyć taką prędkość przepływu powietrza, przy której ruch dymu w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu powietrza jest niemożliwy. Prędkość ta zwana jest prędkością krytyczną. Oblicza się ją podstawie równań [4]:

$$u_c^* = \frac{u_c}{\sqrt{gH}} \quad (3)$$

$$u_c^* = \begin{cases} 0,81 Q^{*1/3}, & Q^* \leq 0,15 \\ 0,43, & Q^* > 0,15 \end{cases} \quad (4)$$

$$Q_c^* = \frac{Q}{\rho_0 c_p T_0 g^{1/2} H^{5/2}} \quad (5)$$

gdzie:

u_c^* – bezwymiarowa prędkość krytyczna;

u_c – prędkość krytyczna, [m/s];

H – wysokość tunelu, [m];

Q^* – bezwymiarowa moc pożaru;

Q – całkowita moc pożaru, [kW];

ρ_0 – gęstość otoczenia, [kg/m³];

T_0 – temperatura powietrza, [K];

c_p – ciepło właściwe powietrza, [kJ/(kg·K)];

g – przyspieszenie ziemskie, [m/s²].

Dzięki osiągnięciu prędkości krytycznej przepływu powietrza w tunelu dochodzi do obniżenia temperatury panującej w strefie podsufitowej. Dodatkowo redukcji ulegają również stężenia toksycznych produktów spalania oraz dym, co ułatwia

$$L_b^* = \frac{L_b}{H} = 0,6 \left(\frac{2gHQ}{\rho_0 T_0 c_p u_0^3 A} - 5 \right) \quad (1)$$

where:

L_b^* – dimensionless length of the section of backlayering smoke;

L_b – length of the section of backlayering smoke, [m];

H – tunnel height, [m];

Q – heat release rate, [kW];

ρ_0 – medium density, [kg/m³];

T_0 – air temperature, [K];

u_0 – local airflow acceleration, [m/s²];

c_p – specific heat of air, [kJ/(kg·K)];

g – gravitational acceleration, [m/s²];

A – cross-section area, [m²]

A formula describing the dimensionless length of the section of backlayering smoke can be also formulated based on the dimensionless heat release rate as follows [4]:

$$L_b^* = \begin{cases} 18,5 \ln \frac{0,81 Q^{*1/3}}{u^*}, & Q^* \leq 0,15 \\ 18,5 \ln \frac{0,43}{u^*}, & Q^* > 0,15 \end{cases} \quad (2)$$

where:

L_b^* – dimensionless length of the section of backlayering smoke;

Q^* – dimensionless heat release rate;

u^* – longitudinal airflow velocity, [m/s].

Taking into account the safe evacuation of people, as well as the prompt and effective arrival of the rescue brigades on site, it is necessary to determine the air velocity at which backlayering is impossible. This is referred to as critical velocity. It is calculated using the following formulas [4]:

$$u_c^* = \frac{u_c}{\sqrt{gH}} \quad (3)$$

$$u_c^* = \begin{cases} 0,81 Q^{*1/3}, & Q^* \leq 0,15 \\ 0,43, & Q^* > 0,15 \end{cases} \quad (4)$$

$$Q_c^* = \frac{Q}{\rho_0 c_p T_0 g^{1/2} H^{5/2}} \quad (5)$$

where:

u_c^* – dimensionless critical velocity;

u_c – critical velocity, [m/s];

H – tunnel height, [m];

Q^* – dimensionless heat release rate;

Q – total heat release rate, [kW];

ρ_0 – ambient density, [kg/m³];

T_0 – air temperature, [K];

c_p – specific heat of air, [kJ/(kg·K)];

g – gravitational acceleration, [m/s²].

When the critical velocity of airflow is reached in the tunnel, the temperature in the ceiling zone drops. In addition, the concentrations of toxic combustion products and smoke are also reduced, making it easier for victims to find an escape route.

odnalezienie drogi ucieczki przez poszkodowanych. Niemniej jednak zbyt duży wzrost tej prędkości może spowodować mieszanie się gazów powstałych w wyniku spalania ze świeżym powietrzem, czyli rozwarstwianie się dymu. W wyniku tego może nastąpić dopływ tlenu do źródła pożaru oraz wzrost intensywności spalania. Duża prędkość przepływu powietrza skutkować może również przenoszeniem się pożaru na inne pojazdy znajdujące się w bezpośredniej bliskości od źródła ognia. W systemie wentylacji wzdłużnej duża prędkość powietrza utrudniać może dotarcie do dróg ewakuacyjnych lub stref bezpiecznych [1]. Podczas pożarów o dużej mocy w tunelach, prędkość równa 3 m/s może nie zapobiegać powstawaniu zjawiska backlayering. Konieczne jest wtedy zwiększenie prędkości krytycznej.

However, an excessive increase in this velocity may result in the mixing of combustion gases with fresh air, i.e., the stratification of smoke. This can result in an inflow of oxygen to the source of fire, coupled with an increased combustion intensity. A high airflow velocity can also cause fire to spread to other vehicles in the immediate vicinity of the fire source. In a longitudinal ventilation system, high air velocities can make it difficult to get to escape routes or safe zones [1]. During fires with a high heat release rate, a velocity of 3 m/s may not prevent backlayering. In such cases, it is necessary to increase the critical velocity.

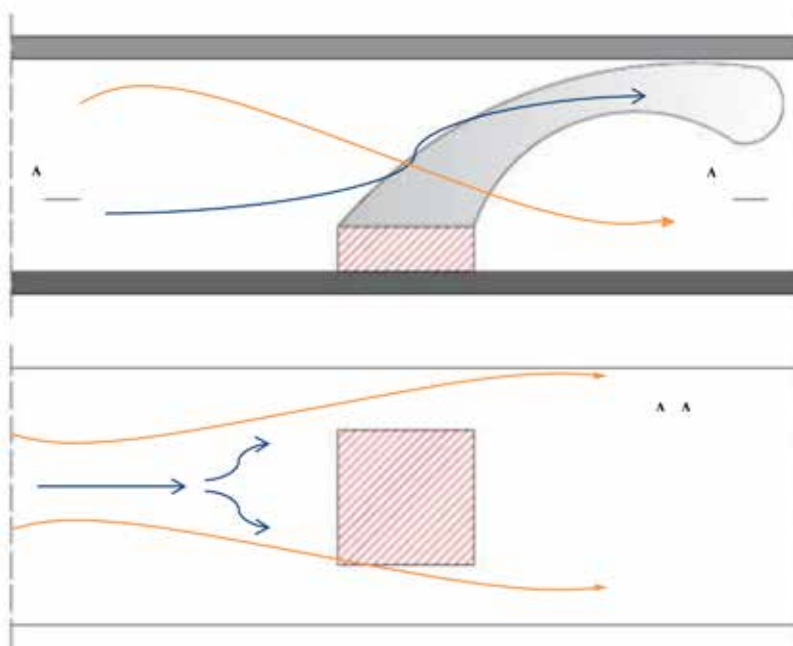


Rycina 3. Przeszczanie się warstwy dymu przy prędkościach powyżej 3 m/s [1]

Figure 3. Smoke layer movement with a velocity greater than 3 m/s [1]

Wraz ze zwiększeniem się odległości od źródła pożaru można zaobserwować powstawanie jednolitej warstwy dymu. Zacieranie się granic pomiędzy warstwami dymu związane jest z oddziaływaniem mas zimnego powietrza na płomień. Intensyfikacja mieszania się warstw występuje natomiast przy dużych wartościach prędkości przepływu powietrza.

As the distance to the fire source grows, one can observe the emergence of a uniform layer of smoke. The blurring of boundaries between smoke layers is due to the impact of cold air masses on flames. The intensification of layer mixing takes place at high airflow velocities.



Rycina 4. Przepływ strumieni powietrza przez źródło pożaru [3]

Figure 4. Air jets flow through the fire source [3]

Na rycinie 4 przedstawiono schemat przepływu strumienia powietrza nad źródłem pożaru. Strumienie zaznaczone kolorem pomarańczowym przepływają obok pożaru, nie powodując mieszania się warstw. Jest to wynikiem różnicy ciśnień występującej między gorącym dymem a zimnym strumieniem powietrza. Dym jest podgrzewany wówczas nad źródłem pożaru i w wyniku działania sił wyporu unosi się do góry. Kumulacja dymu pod sufitem sprawia, że zaczyna on rozchodzić się wzdłuż tunelu. Temperatura dymu maleje wraz ze zwiększaniem się odległości od źródła pożaru. Z kolei wraz ze spadkiem temperatury dymu maleje jego ciśnienie. Spadek ciśnienia ułatwia mieszanie się dymu z otaczającym go powietrzem. Kolejnym czynnikiem naruszającym mocne uwarstwienie dymu są siły bezwładności. Działanie siły bezwładności polega na mieszaniu się strumieni gazów o różnej temperaturze, bez wymiany ciepła. Liczba Richardsona (Ri) opisuje zależność pomiędzy konwekcją naturalną, a konwekcją wymuszoną gazów [3]:

$$R_i = \frac{\Delta \rho g h}{\rho \Delta u^2} \quad (6)$$

gdzie:

ρ – gęstość gorącego gazu, [kg/m³];

$\Delta \rho$ – różnica gęstości, [kg/m³];

g – przyspieszenie ziemskie, [m/s²];

h – grubość warstwy, [m];

Δu – różnica prędkości gazu pomiędzy warstwami, [m/s].

O stabilności warstw dymu w tunelu będzie zatem świadczyła liczba Richardsona. Im wartość tej liczby będzie większa, tym wyraźniej będą oddzielone warstwy. Wraz ze zwiększaniem odległości od źródła pożaru, dym będzie opadał ku dołowi. Efekt ten wynika z utraty pędu oraz intensywnej wymiany ciepła. Istnieją specjalnie opracowane równania zachowania masy, pędu oraz energii, które opisują przepływ dymu w tunelach, przy uwzględnieniu wentylacji naturalnej. Za pomocą równania (7) oblicza się masowe natężenie przepływu dla dymu w stanie ustalonym [4]:

$$\dot{m}(x) = \dot{m}_0 + \beta W \int |u - u_0| dx \quad (7)$$

gdzie:

u_0 – prędkość przepływu powietrza w dolnej warstwie, [m/s];

$\dot{m}_0$ – masowe natężenie przepływu powietrza, [kg/s];

ρ – współczynnik porywania między warstwami;

W – szerokość tunelu, [m].

Mając do dyspozycji masowe natężenie przepływu, można oszacować głębokość warstwy dymu w konkretnej odległości (x). W tym celu należy użyć następującego równania [3]:

$$h(x) = \frac{\dot{m}(x)(T_0 + \Delta T(x))}{\rho_0 T_0 u(x) W} \quad (8)$$

gdzie:

ΔT – nadmiar temperatury dymu, [K];

ρ_0 – gęstość otoczenia, [kg/m³];

T_0 – temperatura powietrza, [K];

$u(x)$ – prędkość przepływu powietrza, [m/s];

W – szerokość tunelu, [m].

Figure 4 presents the air jets flow above the fire source. The jets marked with orange flow next to the fire, not resulting in the mixing of layers. This stems from the pressure difference between the hot smoke and the cold air jet. Smoke is then heated up above the source of the fire and raised by the buoyant force. The accumulation of smoke under the ceiling causes it to spread along the tunnel. As the distance to the fire source grows, the temperature of smoke decreases. In turn, as the smoke temperature decreases, its pressure drops. The drop in pressure makes it easier for the smoke to mix up with the surrounding air. Inertia forces constitute another factor which distorts the strong stratification of smoke. The effects if inertia result in the mixing of gas streams of various temperature with no heat transfer. The Richardson number (Ri) describes the correlation between the natural convection and the forced convection of gasses [3]:

$$R_i = \frac{\Delta \rho g h}{\rho \Delta u^2} \quad (6)$$

where:

ρ – density of hot gas, [kg/m³];

$\Delta \rho$ – difference in density, [kg/m³];

g – gravitational acceleration, [m/s²];

h – layer thickness, [m];

Δu – difference in gas velocity between layers, [m/s].

Thus, the Richardson number determines the stability of smoke layers inside the tunnel. The higher its value, the more clearly the layers will be separated. As the distance to the fire source grows, smoke will descend. This effect is due to the loss of momentum and intensive heat exchange. There are special formulas for mass, momentum and energy which describe the smoke flow in tunnels, taking into account natural ventilation. Using formula (7), it is possible to calculate the mass flow rate for smoke in a steady state [4]:

$$\dot{m}(x) = \dot{m}_0 + \beta W \int |u - u_0| dx \quad (7)$$

where:

u_0 – airflow velocity in the lower layer, [m/s];

$\dot{m}_0$ – mass flow rate of air, [kg/s];

ρ – entrainment rate between the layers;

W – tunnel width, [m].

With the mass flow rate known, it is possible to estimate the depth of the smoke layer at a specific distance (x). To do so, one can use the following formula [3]:

$$h(x) = \frac{\dot{m}(x)(T_0 + \Delta T(x))}{\rho_0 T_0 u(x) W} \quad (8)$$

where:

ΔT – excess temperature of smoke, [K];

ρ_0 – ambient density, [kg/m³];

T_0 – air temperature, [K];

$u(x)$ – airflow velocity, [m/s];

W – tunnel width, [m].

Równanie (8) można jednak zastosować tylko wówczas, gdy dym nie osiągnie poziomu podłogi. Do określenia wysokości warstwy dymu należy się posłużyć następującym wzorem [3]:

$$H_{smoke}(x) = H - h(x) \cdot [x] \quad (9)$$

W równaniu (7) został wykorzystany współczynnik porywania β . Zjawisko porywania polega na przemieszczaniu się mas powietrza do górnych warstw w wyniku turbulentnego mieszania. Duże wiry wytworzone przez turbulencje przenoszą powietrze. Za pomocą następującego równania można wyróżnić trzy odrębne strefy różniące się pod względem stratyfikacji dymu [4]:

$$Fr = \frac{u_{avg}^2}{\sqrt{gH\Delta T_{cf} / T_{avg}}} \quad (10)$$

gdzie:

H – wysokość tunelu, [m];

T_{avg} – średnia temperatura gazu na całym przekroju w danej pozycji, [K];

$\Delta T_{cf} = T_c - T_f$ – różnica temperatury gazu pomiędzy sufitem a podłogą, [K];

g – przyspieszenie ziemskie, [m/s²];

$$u_{avg} = u T_{avg} / T_a.$$

Liczne badania wykazały, że w drugiej strefie do obliczenia różnicy temperatur potrzebne jest dodatkowe równanie, które wygląda w sposób następujący [3]:

$$\Delta T_{cf} = 0,225 \frac{gH\Delta T_{avg}^2}{T_{avg} u_{avg}^2} \quad (11)$$

gdzie:

H – wysokość tunelu, [m];

T_{avg} – średnia temperatura gazu na całym przekroju w danej pozycji, [K];

g – przyspieszenie ziemskie, [m/s²];

$$u_{avg} = u T_{avg} / T_a.$$

Średnią prędkość (u_{avg}) oraz średnią temperaturę (T_{avg}) konieczne do zastosowania w równaniu (11) można obliczyć na podstawie specjalnie przygotowanych do tego celu modeli. Otrzymane wartości wykorzystywane są do obliczenia liczby Froude'a. Mogą one odbiegać od rzeczywistych temperatur panujących w tunelu. Poszczególne wartości liczby Froude'a odpowiadają określonym strefom. Podziału stref dokonano na podstawie gradientu temperatur oraz jakości rozwarstwienia dymu (zob. ryc. 5). Strefa I charakteryzuje się silnym rozwarstwieniem warstw dymu oraz wartością $Fr \leq 0,9$. W strefie II wartość Fr mieści się w granicach od 0,9 do 3,2. W tej strefie na dym działa siła wyporu oraz siła napływającego powietrza. W strefie III wartość $Fr > 3,2$ oraz następuje zatarcie się granic stref. Dodatkowo w każdej ze stref występują różnice temperatur pomiędzy sufitem a podłogą. W strefie I obserwuje się największą różnicę temperatur. Wynika to z faktu, że gorące gazy pożarowe przemieszczają się pod sufitem, natomiast przy podłodze panuje temperatura otoczenia. W strefie III występują niewielkie różnice temperatur. Dzieje się tak, ponieważ dym wymieszał się już z powietrzem. Strefa II to strefa przejściowa. Występują w niej różnice temperatur.

However, formula (8) can only be used if the smoke layer has not reached the floor level. In order to determine the height of the smoke layer, the following formula can be used [3]:

$$H_{smoke}(x) = H - h(x) \cdot [x] \quad (9)$$

The entrainment rate β is used in formula (7). Entrainment consists in the air masses moving to the upper layers as a result of turbulent mixing. Large vortexes generated by turbulence move the air. Using the following formula, it is possible to differentiate between three separate zones which differ in terms of smoke stratification [4]:

$$Fr = \frac{u_{avg}^2}{\sqrt{gH\Delta T_{cf} / T_{avg}}} \quad (10)$$

where:

H – tunnel height, [m];

T_{avg} – average gas temperature throughout the entire section of a given position, [K];

$\Delta T_{cf} = T_c - T_f$ – gas temperature difference between the ceiling and the floor, [K];

g – gravitational acceleration, [m/s²];

$$u_{avg} = u T_{avg} / T_a.$$

Numerous studies have demonstrated that an additional formula is needed in the second zone to calculate the temperature difference. This formula is presented below [3]:

$$\Delta T_{cf} = 0,225 \frac{gH\Delta T_{avg}^2}{T_{avg} u_{avg}^2} \quad (11)$$

where:

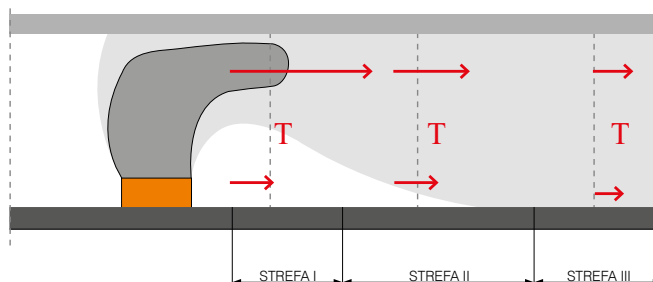
H – tunnel height, [m];

T_{avg} – average gas temperature throughout the entire section of a given position, [K];

g – gravitational acceleration, [m/s²];

$$u_{avg} = u T_{avg} / T_a.$$

Average velocity (u_{avg}) and average temperature (T_{avg}) which must be used in formula (11) can be calculated based on specially designed models. The obtained values are used to calculate the Froude number, and can differ from the actual temperatures in the tunnel. The individual values of the Froude number correspond to individual zones. The zone division was based on the temperature gradient and the quality of smoke stratification (see Fig. 5). Zone I is characterised by a strong stratification of the smoke layers and $Fr \leq 0.9$. In Zone II, Fr is within the range of 0.9 to 3.2. In this zone, the smoke is affected by the buoyant force and the force of the incoming air. In Zone III, $Fr > 3.2$ and the zone borders become blurred. In addition, in each zone there are temperature differences between the ceiling and the floor. The greatest difference in temperatures is observed in Zone I. This is due to the fact that the hot fire glasses move under the ceiling, while ambient temperature is retained near the floor. In Zone III, small temperature differences are recorded. This is because the smoke has already mixed up with air. Zone II is a transition zone where temperature differences are present.



Rycina 5. Podział stref dymowych w tunelu drogowym [3]

Figure 5. Smoke zones in a road tunnel [3]

Zasięg widzialności w dymie

Określenie parametru widoczności podczas pożarów w tunelach drogowych ma bardzo duży wpływ na bezpieczeństwo użytkowników tego rodzaju obiektów. Obniżenie zasięgu widzenia może utrudniać dotarcie do wyjść ewakuacyjnych lub odnalezienie drogi ucieczki. W najgorszych przypadkach całkowity brak widoczności może również doprowadzić do dezorientacji oraz paniki. W celu oszacowania zasięgu widzialności opracowano specjalne równanie [3]:

$$V_s = \frac{K \cdot \chi \cdot u A \Delta H_c}{\ln 10 \cdot D_{mass} Q} \quad (12)$$

gdzie:

V_s – widoczność, [m];
 K – współczynnik dla światła,
 χ – współczynnik spalania;
 A – pole powierzchni tunelu, [m²];
 ΔH_c – ciepło spalania, [kJ/kg];
 D_{mass} – masowa gęstość optyczna, [m²/kg];
 Q – moc pożaru, [kW];
 u – prędkość powietrza w tunelu, [m/s].

Współczynnik (K) jest stały i zależy od sposobu emitowania światła. Wyróżnia się dwa rodzaje emisji światła: poprzez odbicie oraz wydzielanie bezpośrednio przez źródło. Jeżeli źródło odbija światło, to współczynnik (K) przyjmuje wartości od 2 do 4, jeżeli natomiast źródło samodzielnie emituje światło, to współczynnik przyjmuje wartości od 5 do 10.

Określenie rodzaju spalania oraz mocy pożaru

Podstawowym zagadnieniem podczas odwzorowywania pożarów w tunelach drogowych jest ustalenie rodzaju spalania. Istnieją dwa rodzaje przebiegu reakcji spalania: spalanie kontrolowane przez paliwo oraz spalanie kontrolowane przez wentylację. Do określenia rodzaju spalania wykorzystuje się współczynnik równoważności paliwa do powietrza Φ [3]:

$$\Phi = \frac{r \dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (13)$$

gdzie:

$\dot{m}_f$ – ubytek masy paliwa, [kg/s];
 $\dot{m}_a$ – masowe natężenie przepływu powietrza, [kg/s];
 r – współczynnik stechiometryczny.

Visibility in smoke

Determining the visibility parameter during fires in road tunnels greatly impacts on the safety of users of such facilities. Reduced visibility may cause difficulties in reaching emergency exits or finding an escape route. In the worst-case scenario, a total lack of visibility poses the risk of confusion and panic. In order to estimate visibility, a special formula was developed [3]:

$$V_s = \frac{K \cdot \chi \cdot u A \Delta H_c}{\ln 10 \cdot D_{mass} Q} \quad (12)$$

where:

V_s – visibility, [m];
 K – rate for light,
 χ – combustion rate;
 A – tunnel area, [m²];
 ΔH_c – heat of combustion, [kJ/kg];
 D_{mass} – mass optical density, [m²/kg];
 Q – heat release rate, [kW];
 u – air velocity inside the tunnel [m/s].

The (K) rate is constant and depends on the manner of light emission. There are two types of light emission: resulting from reflection and coming directly from the source. If the source reflects light, the value of (K) ranges from 2 to 4, and if the source emits light, the rate is from 5 to 10.

Determining the type of combustion and the heat release rate

The fundamental issue when modelling fires in road tunnels is to determine the type of combustion. There are two types of combustion reactions, i.e., fuel-controlled combustion and ventilation-controlled combustion. In order to determine the type of combustion, the fuel-air equivalence ratio is used Φ [3]:

$$\Phi = \frac{r \dot{m}_f}{\dot{m}_a} \quad (13)$$

where:

$\dot{m}_f$ – fuel mass loss, [kg/s];
 $\dot{m}_a$ – mass flow rate of air, [kg/s];
 r – stoichiometric ratio.

W zależności od wartości powyższego współczynnika wyróżnia się dwa rodzaje spalania. Proces kontrolowany przez paliwo występuje wtedy, gdy Φ jest mniejszy niż 1. W takim przypadku moc pożaru uzależniona jest od współczynnika ubytku masy. Jest to zależność proporcjonalna i można ją obliczyć na podstawie równania [3]:

$$Q = \dot{m}_f \chi \Delta H_c \quad (14)$$

gdzie:

$\dot{m}_f$ – ubytek masy paliwa, [kg/s];
 χ – współczynnik spalania;
 ΔH_c – całkowite ciepło spalania netto, [kJ/kg].

Efektywne ciepło spalania ($\Delta H_{c,eff}$) podczas pożarów nigdy nie będzie równe ΔH_c . Całkowite ciepło spalania netto musi zostać skorygowane o pewien współczynnik, a dokładnie współczynnik spalania χ . Można go opisać za pomocą następującego wzoru [3]:

$$\chi = \frac{\Delta H_{c,eff}}{\Delta H_c} \quad (15)$$

gdzie:

$\Delta H_{c,eff}$ – efektywne ciepło spalania, [kJ/kg];
 ΔH_c – całkowite ciepło spalania netto, [kJ/kg].

Pożar sterowany wentylacją występuje wtedy, gdy Φ jest większy niż 1. Od masowego natężenia przepływu powietrza zależy proporcjonalnie moc pożaru. Zależność tę opisuje następujące równanie [3]:

$$Q = \dot{m}_a \frac{\Delta H_c}{r} \quad (16)$$

gdzie:

$\dot{m}_a$ – masowe natężenie przepływu powietrza, [kg/s];
 r – współczynnik stechiometryczny;
 ΔH_c – całkowite ciepło spalania netto [kJ/kg].

Maksymalna moc pożaru to bardzo ważny parametr. Najlepsze dane uzyskuje się na podstawie badań w skali 1:1. Aby oszacować maksymalne Q [MW], można zastosować wyrażenie (17). Zależność tę należy stosować wyłącznie do pożarów, które nie są kontrolowane przez wentylację [3]:

$$Q_{max} = \sum_i \min \left(1,85 \dot{m}_a \sum_i \frac{\chi_{r,i} \Delta H_{c,i}}{L_{g,i}}; m_{f,max,i} A_{f,i} \Delta H_{c,i} \right) \quad (17)$$

$$\chi_{r,i} = \chi_r \frac{A_i}{A_t} \quad (18)$$

$$\dot{m}_a = 0,5 \sum_i A_{0,i} H_{0,i}^{1/2} \quad (19)$$

gdzie:

$\dot{m}_a$ – maksymalne masowe natężenie przepływu powietrza, [kg/s];
 A_i – i-ta powierzchnia, [m²];
 A_t – całkowita powierzchnia, suma wszystkich powierzchni $A_{p,i}$ [m²];
 $A_{0,i}$ – i-ta powierzchnia otwartej przestrzeni, [m²];
 $H_{0,i}$ – i-ta wysokość otwartej przestrzeni, [m];
 χ_r – ułamek ciepła pochłonięty przez powierzchnie;
 $\chi_{r,i}$ – ułamek ciepła pochłonięty przez i-tą powierzchnię;
 L_g – ciepło pirolizy, [MJ/kg];
 $\Delta H_{c,i}$ – ciepło spalania, [MJ/kg];

Depending on this ratio, there are two types of combustion. Fuel-controlled combustion takes place when Φ is lower than 1. In such a case, the heat release rate depends on the mass loss rate. This forms a proportional relationship and can be calculated based on equation [3]:

$$Q = \dot{m}_f \chi \Delta H_c \quad (14)$$

where:

$\dot{m}_f$ – fuel mass loss, [kg/s];
 χ – combustion rate;
 ΔH_c – total net heat of combustion [kJ/kg].

Effective heat of combustion ($\Delta H_{c,eff}$) never equals ΔH_c during a fire. The total net heat of combustion must be adjusted for the combustion rate χ . It can be described using the following formula [3]:

$$\chi = \frac{\Delta H_{c,eff}}{\Delta H_c} \quad (15)$$

where:

$\Delta H_{c,eff}$ – effective heat of combustion, [kJ/kg];
 ΔH_c – total net heat of combustion, [kJ/kg].

A ventilation-controlled fire takes place when Φ is greater than 1. The heat release rate is proportional to the mass flow rate of air. This relationship is described by the following formula [3]:

$$Q = \dot{m}_a \frac{\Delta H_c}{r} \quad (16)$$

where:

$\dot{m}_a$ – mass flow rate of air [kg/s];
 r – stoichiometric ratio;
 ΔH_c – total net heat of combustion [kJ/kg].

The maximum heat release rate is a crucial parameter. The best data are obtained based on 1:1 tests. In order to estimate maximum Q [MW], one can use expression (17). This relationship should be applied only to those fires which are not ventilation-controlled.

$$Q_{max} = \sum_i \min \left(1,85 \dot{m}_a \sum_i \frac{\chi_{r,i} \Delta H_{c,i}}{L_{g,i}}; m_{f,max,i} A_{f,i} \Delta H_{c,i} \right) \quad (17)$$

$$\chi_{r,i} = \chi_r \frac{A_i}{A_t} \quad (18)$$

$$\dot{m}_a = 0,5 \sum_i A_{0,i} H_{0,i}^{1/2} \quad (19)$$

where:

$\dot{m}_a$ – maximum mass flow rate of air, [kg/s];
 A_i – i-th area, [m²];
 A_t – total area, the sum of all areas $A_{p,i}$ [m²];
 $A_{0,i}$ – i-th area of an open space, [m²];
 $H_{0,i}$ – i-th height of an open space, [m];
 χ_r – fraction of heat absorbed by the area;
 $\chi_{r,i}$ – fraction of heat absorbed by the i-th area;
 L_g – heat of pyrolysis, [MJ/kg];
 $\Delta H_{c,i}$ – heat of combustion, [MJ/kg];

Badania numeryczne

Program komputerowy Fire Dynamics Simulator (FDS) został stworzony przez amerykański instytut National Institute of Standards and Technology (NIST) jako aplikacja wykorzystywana do modelowania pożarów za pomocą numerycznej dynamiki płynów (CFD). Program bazuje na rozwiązywaniu uproszczonego układu równań Naviera-Stokes'a dla prędkości przepływu mniejszej lub równej 102 m/s. Program został opracowany, aby ułatwić pracę inżynierom i specjalistom zajmującym się bezpieczeństwem pożarowym. FDS umożliwia modelowanie rozwoju pożaru oraz analizę zjawisk towarzyszących pożarom w geometriach prostych oraz złożonych. Program FDS wykorzystuje modele fizyczne zjawisk do opisu pożaru. Głównymi modelami numerycznymi są w tym przypadku: model hydrodynamiczny, model spalania, model promieniowania cieplnego. Fire Dynamics Simulator wykorzystuje również takie moduły jak: geometria i budowa siatek wielokrotnych, obliczenia równoległe oraz warunki brzegowe [4–5]. Pomimo złożoności programu FDS, posiada on pewne ograniczenia. Jednym z głównych utrudnień jest założenie wolnego przepływu, czyli wartości prędkości mniejszej lub równej około 102 m/s, co stanowi barierę w stosowaniu programu w badaniu i poznawaniu procesów takich jak eksplozje. Zastosowanie w programie geometrii prostoliniowej komplikuje odwzorowanie różnych powierzchni nieprzecinających się pod kątem 90 stopni. Rozwiązaniem tego problemu jest maksymalne zagęszczenie siatki obliczeniowej oraz możliwie najwierniejsze odwzorowanie elementu za pomocą dostępnych metod. Dzięki takiemu zabiegowi możliwe jest zaprojektowanie powierzchni lub obiektu maksymalnie przypominającego obiekt rzeczywisty. Do wykonania symulacji z jak największą dokładnością musi być znana ściśle określona szybkość wydzielania się ciepła (HRR). W przypadku gdy szybkość wydzielania ciepła jest nieznana, otrzymane wyniki obarczone będą większą niedokładnością. W programie FDS wykorzystywane są modele empiryczne, które zwiększają dokładność wyników podczas symulacji w pomieszczeniach słabo wentylowanych oraz w pomieszczeniach, gdzie znajduje się dużo pary wodnej lub dwutlenku węgla. W programie zostało wykorzystane równanie Radiation Transport Equation (RTE), które opisuje radiacyjną wymianę ciepła dla gazu szarego. Jest ono rozwiązywane metodą Finite Volume Method (FVM), czyli metodą objętości kontrolnych. Wykorzystanie tego modelu jest rozwiązaniem niedoskonałym ze względu na radiację strumienia na obiekty odległe od źródła promieniowania. Dodatkowo sadza może zaburzać emisję promieniowania cieplnego [4]. Do wizualizacji danych wyjściowych, otrzymanych w wyniku symulacji, wykorzystywany jest program Smokeview. Program w animowany sposób przedstawia zjawiska pożarowe, takie jak przepływ dymu, rozprzestrzenianie się pożaru, płomień, kierunki rozchodzenia się temperatury itp. Za pomocą Smokeview można również pokazać wykresy i kierunki wektorów, np. prędkości przepływu dymu lub ciepła. Co więcej aplikacja umożliwia bieżące kontrolowanie postępów w przygotowywanej symulacji poprzez wyświetlanie obrazu podczas wprowadzania danych wejściowych. Dzięki temu można dokonywać weryfikacji oraz wprowadzać poprawki

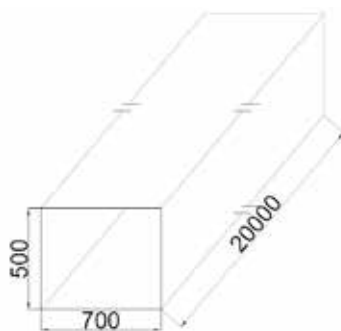
Numerical studies

The Fire Dynamics Simulator (FDS) software was developed by the National Institute of Standards and Technology (NIST) to model fires using computational fluid dynamics (CFD). The software is based on a simplified Navier-Stokes equations system for flow velocities less than or equal to 102 m/s. It was designed to streamline the work of fire safety engineers and specialists. FDS makes it possible to model fire development, and to analyse fire phenomena in simple and complex geometries. It utilises physical models of phenomena to describe fires. In this case, the main numerical models are the hydrodynamic model, the combustion model, and the thermal radiation model. The Fire Dynamics Simulator also uses such modules as the multiple mesh geometry and structure, parallel computing, and boundary conditions [4–5]. Despite its complexity, FDS has some limitations. One of the main difficulties is the assumption of free flow, i.e. a velocity which is less than or equal to about 102 m/s, which constitutes a barrier to using the programme in studying and learning about selected processes, such as explosions. The use of rectilinear geometry in the programme makes it complicated to represent surfaces which do not intersect at 90 degrees. To address this problem, one can increase the density of the grid to the maximum, and represent the element using the available methods as precisely as possible. This makes it possible to design areas or objects which resemble the actual ones as close as possible. To perform the simulation with the greatest possible accuracy, one must know a precisely defined heat release rate (HRR). When the heat release rate is unknown, the obtained results can be subject to greater inaccuracy. FDS uses empirical models which increase the accuracy of the results during simulation in poorly ventilated rooms and in rooms with significant amounts of water vapour or carbon dioxide. The programme also uses the Radiation Transport Equation (RTE) which describes radiative heat transfer for a grey gas. It is solved using the Finite Volume Method (FVM). The application of this model is an imperfect solution because of the radiant flux affecting objects located far away from the radiation source. In addition, soot can disturb the emission of thermal radiation [4]. In order to visualize the output data resulting from simulations, the Smokeview programme is used. It animates fire phenomena such as smoke flow, fire propagation, flame, directions of temperature propagation, etc. Also, Smokeview can be used to display graphs and directions of vectors, for example, of smoke flow velocity or heat. Furthermore, the app makes it possible to control the prepared simulation progress on an ongoing basis by displaying images while the input data are being entered. This allows verification and correction to be performed at the modelling stage. Visualising fire phenomena provides great opportunities for improving safety in various facilities. Evacuation of people is among its most significant aspects. The knowledge of the distribution of smoke layers and the time of their movement makes it easy to plan the evacuation of users from a building or a non-building structure [4].

na etapie modelowania. Używanie wizualizacji zjawisk pożarowych daje duże możliwości poprawy bezpieczeństwa w obiektach. Jednym z bardziej znaczących aspektów jest ewakuacja ludzi. Dzięki znajomości rozkładu warstw dymu oraz czasu ich przemieszczania się, w łatwy sposób można zaplanować ewakuację użytkowników z budynku lub budowli [4].

Badania numeryczne przeprowadzono w programie PyroSim [5], na podstawie danych doświadczalnych w dużej skali podczas rzeczywistego pożaru testowego w tunelu Runehamar w Norwegii [3]. Wszystkie symulacje wykonano na siatce obliczeniowej o wymiarach $208 \times 7 \times 5$ m. Pojedyncza komórka siatki obliczeniowej miała kształt sześcianu foremnego o wymiarach 0,5 m. Łącznie komórek obliczeniowych było 58 240. W badaniach wykorzystany został model tunelu przedstawiony na rycinie poniżej. Całkowita długość tunelu wynosiła 200 m, szerokość otworów wlotowego i wylotowego 7 m, natomiast wysokość otworów 5 m. Ściany nie zostały zamodelowane jako przeszkody. Do tego celu została wykorzystana siatka obliczeniowa. W tunelu znajdowały się dwa wentylatory wyciągowe umieszczone pod sufitem w odległościach 52,5 i 152,5 m od otworu wlotowego do tunelu. Dystans pomiędzy urządzeniami a osią tunelu wynosił 2,25 m. Powierzchnia otworów, w których zasysano powietrze oraz dym z prędkością 3 m/s, równała się 1 m^2 . Dodatkowo została utworzona powierzchnia, która miała za zadanie wytworzenie przepływu powietrza w tunelu o prędkości 2 m/s. W drugim otworze wylotowym granice siatki zostały otwarte. Dzięki temu umożliwiono swobodny wypływ dymu z tunelu. Źródło pożaru o wymiarach $4 \times 2 \times 1$ m znajdowało się w odległości 100 m od wlotu do tunelu. Na tej przeszkodzie utworzono went, który symulował pożar o powierzchni 8 m^2 .

Numerical studies were conducted in the PyroSim [5] programme, based on large-scale experimental data during an actual fire test in the Runehamar Tunnel in Norway [3]. All simulations were performed on a grid of $208 \times 7 \times 5$ m. A single grid cell was a 0.5 m cube. There were 58,240 such cells in total. The tunnel model presented in the figure below was used in the studies. The total tunnel length was 200 m, the width of the inlet and outlet was 7 m, and their height equalled 5 m. The walls were not modelled as obstacles. A grid was used for this purpose. In the tunnel, there were two exhaust fans located under the ceiling at a distance of 52.5 and 152.5 m from the tunnel inlet. The distance between the devices and the tunnel axis was 2.25 m. The surface of openings in which air and smoke was sucked in with a velocity of 3 m/s was 1 m^2 . In addition, a surface was established to create an airflow inside the tunnel with a velocity of 2 m/s. In the second outlet, the grid borders were opened. This facilitated the free flow of smoke in the tunnel. The source of the fire, with the dimensions of $4 \times 2 \times 1$ m, was located 100 m from the tunnel inlet. A vent was created on this obstacle, which simulated a fire with an area of 8 m^2 .



Rycina 6. Widok ogólny tunelu

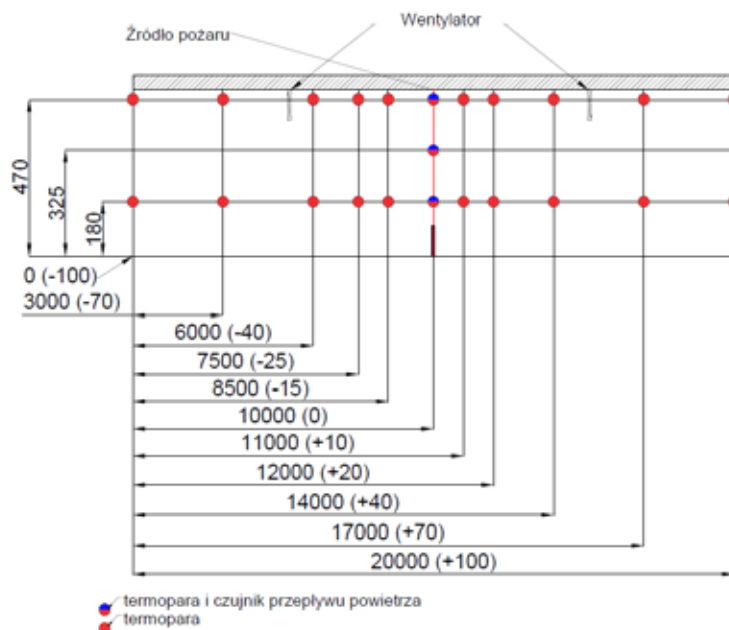
Figure 6. General view of the tunnel

Moc pożaru była zależna od realizowanego podczas obliczeń scenariusza rozwoju pożaru. W symulacji wykorzystano funkcję HRRPUA, którą opisano szybkość spalania masy na jednostkę powierzchni. Wartości zostały zaczerpnięte z danych doświadczalnych [3]. Do testów wykorzystano cztery moce pożarów podane w tabeli 6. Parametry pożaru, takie jak temperatura czy prędkość przepływu powietrza, zmierzono za pomocą urządzeń do pomiaru fazy gazowej. Termoelementy zostały umieszczone na dwóch wysokościach, tj. na wysokości: 1,8 m oraz 4,7 m. Urządzenia do pomiaru prędkości przepływu powietrza umieszczono nad źródłem na wysokościach 1,8, 3,25 oraz 4,7 m. Odległości urządzeń od początku tunelu zaprezentowano

The heat release rate depended on the fire development scenario implemented during the calculations. The HRRPUA function was used in the simulation, describing the mass combustion rate per unit area. The values were taken from experimental data [3]. The four heat release rates given in Table 6 were used in the tests. Fire parameters, such as temperature and airflow velocity, were measured using gaseous phase measurement equipment. Thermocouples were positioned at heights of 1.8 m and 4.7 m. Airflow velocity measurement devices were positioned above the source, at heights of 1.8, 3.25 and 4.7 m. The distances between the devices and the tunnel entrance are presented in Figure 7. Centimetre is the basic unit in the fig-

na rycinie 7. Na rycinach opisujących geometrię tunelu podstawową jednostką był centymetr. Natomiast na rycinie 7 w nawiasach podano odległości urządzeń od centrum pożaru wyrażone w metrach. W celu łatwej orientacji w rozmieszczeniu poszczególnych urządzeń znajdujących się przed źródłem wprowadzono znak „-” poprzedzający wartość odległości wyrażoną liczbowo. Podobnie postąpiono w przypadku termopar znajdujących się za centrum pożaru – wykorzystując znak „+”.

ures describing tunnel geometry. In turn, Figure 7 displays (in brackets) the distances between the devices and the fire centre in metres. For the ease of orientation in the arrangement of individual devices located ahead of the source, the “-” sign was introduced before the numerical value of the distance. Thermocouples located behind the fire source were marked in a similar fashion, with the “+” sign.



Rycina 7. Schemat rozmieszczenia urządzeń pomiarowych

Figure 7. Locations of measurement equipment

W celu wizualizacji wyników na modelu zostało utworzonych sześć płaszczyzn wynikowych. Trzy z nich dotyczyły temperatury, dwie widoczności i jedna prędkości przepływu powietrza. Dokładny opis płaszczyzn oraz położenie w geometrii pokazują rycina 8 oraz tabela 1.

To visualise the results, six result planes were superimposed on the model. Three of these concerned temperature, two related to visibility, and one to airflow velocity. A detailed description of the planes and their positioning in the model geometry is shown in Figure 8 and Table 1.

Tabela 1. Właściwości płaszczyzn wynikowych

Table 1. A set of results

	Płaszczyzna XYZ / XYZ plane	Wartość płaszczyzny / Plane's value	Wielkość fazy gazowej / Gas phase value
1	Y	5,0 m / 5.0 m	Temperatura / Temperature
2	Z	1,8 m / 1.8 m	Temperatura / Temperature
3	Z	1,8 m / 1.8 m	Widoczność / Visibility
4	Y	2,75 m / 2.75 m	Prędkość / Velocity
5	Y	5,0 m / 5.0 m	Widoczność / Visibility
6	Z	4,7 m / 4.7 m	Temperatura / Temperature

Źródło: Opracowanie własne.

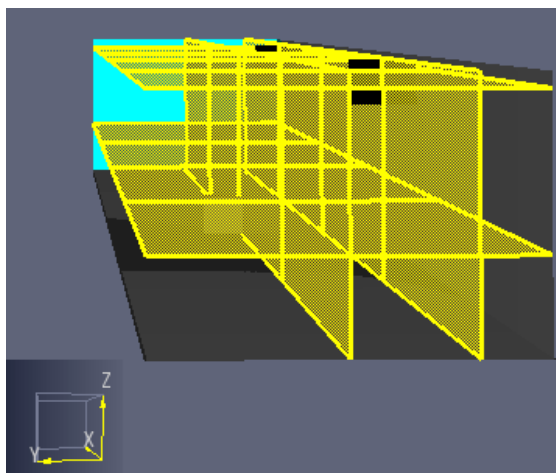
Source: Own elaboration.

Rycina 8 przedstawia ułożenie płaszczyzn na modelu. Kolorem żółtym zaznaczono płaszczyzny wynikowe. W jej lewym dolnym rogu znajduje się układ odniesienia. Długość tunelu została zorientowana wzdłuż osi „X”, szerokość wzdłuż osi „Y”,

Figure 8 presents the arrangement of the planes on the model. The result planes are yellow. A frame of reference can be seen in the bottom left corner. The length, width and height of the tunnel were oriented along the “X”, “Y” and “Z” axes, re-

natomiast wysokość wzdłuż osi „Z”. Wlot tunelu znajdował się dokładnie na początku układu współrzędnych. Dzięki temu w prosty sposób można było określić odległości od poszczególnych obiektów.

spectively, and the tunnel inlet was positioned exactly at the beginning of the coordinate system. This made it possible to easily determine the distances to individual objects.



Rycina 8. Położenie płaszczyzn wynikowych na modelu
Figure 8. Result areas displayed in the model

Charakterystyka tunelu Runehamar

W tunelu Runehamar przeprowadzono badania eksperymentalne pożarów w dużej skali. Pomogły one zrozumieć zagadnienia związane z pożarami w tego typu obiektach [3]. W próbach tych starano się jak najlepiej odwzorować materiał palny, który może znajdować się w tunelu przy jego zwykłej eksploatacji. Wykonano łącznie cztery testy z wykorzystaniem głównie drewna, materiałów z tworzyw sztucznych, materacy (PUR¹), jak również mebli i materiałów gumowych.

The Runehamar Tunnel characteristics

Large-scale experimental fire tests were carried out in the Runehamar Tunnel. The tests allowed people to better understand the issues related to fires in such structures [3]. Attempts were made to reproduce, as accurately as possible, the combustible material that may be present in the tunnel during its normal use. Four tests in total were carried out using mainly wood, plastic materials, mattresses (PUR¹), as well as furniture and rubber materials.

Tabela 2. Materiały użyte podczas testów Runehamar [3]

Table 2. Materials used in the Runehamar experiments [3]

Numer testu / Test No.	Opis / Description	Masa całkowita / Total mass [kg]	Udział materiałów z tworzyw sztucznych / Percentage of plastic materials [%]
Test 1	Palety drewniane oraz polietylenowe / Wooden and polyethylene pallets	11010	18
Test 2	Palety drewniane materace poliuretanowe / Wooden pallets, polyurethane mattresses	6930	18
Test 3	Mebel i opony / Furniture and tyres	8550	18 (brak opon / no tyres)
Test 4	Kubki polistyrenowe w pudełkach kartonowych umieszczone na drewnianych paletach / Polystyrene cups in cardboard boxes, on wooden pallets	2850	19

Na potrzeby testów w tunelu Runehamar zastosowano specjalną konstrukcję wewnętrznego tunelu z płyt ogniochronnych. Tunel Runehamar ma 1,6 km długości, 6 m wysokości oraz 9 m szerokości. Stworzona konstrukcja miała około 75 m długości, 7,1 m szerokości oraz 5 m wysokości. Składała się z płyt PROMATECT-T o grubości od 45 do 25 mm. Najgrubsze płyty zostały umieszczone przy źródle pożaru. W tak skonstruowanym, wewnętrznym tunelu umieszczono przygotowany materiał palny.

For the purposes of the Runehamar Tunnel experiments, a special internal structure made of fireproof cladding was used. The Runehamar Tunnel is 1.6 km long, 6 m high, 9 m wide. The created structure was 75 m long, 7.1 m wide and 5 m high. It was made of PROMATECT-T boards with a thickness ranging from 45 to 25 mm. The thickest boards were placed near the source of the fire. The prepared flammable material was positioned inside the tunnel.

¹ PUR – Poliuretan

¹ PUR – Polyurethane

Przygotowanie symulacji CFD

Geometria tunelu została odwzorowana na podstawie publikacji naukowych zawierających szczegółowe opisy badań doświadczalnych w tunelu Runehamar [6]. Jednakże na potrzeby badań numerycznych została ona w znacznym stopniu uproszczona. Przyjęto prostopadłościenny kształt tunelu o długości 200 m, szerokości 7 m oraz wysokości 5 m. Pole powierzchni otworu wlotowego wynosiło 35 m². W tunelu Runehamar pole powierzchni otworu wynosiło 32 m². Przeprowadzono łącznie cztery symulacje komputerowe. Czas pojedynczej symulacji wynosił 900 s (dla mocy pożaru 202 MW – 1100 sekund). W zależności od scenariusza zastosowano różne moce pożarów (uwzględniając wyniki badań doświadczalnych w tunelu Runehamar) [6]. Czasy osiągnięcia szczytowej szybkości wydzielania ciepła również nie były jednakowe. Stałe wartości pojawiające się w każdej symulacji to: prędkość powietrza w tunelu oraz prędkość powietrza zasysanego przez dwa wentylatory umieszczone pod sufitem.

Tabela 3. Podstawowe parametry wykorzystane w symulacjach

Table. 3. Fundamental parameters used in numerical simulations

Oznaczenie testu / Test specification	Moc pożaru / Heat release rate [MW]	Czas osiągnięcia maksymalnej mocy pożaru / Time until reaching the maximum heat release rate [min]	Prędkość powietrza w tunelu / Air velocity inside the tunnel [m/s]	Prędkość powietrza z wentylatorów / Air velocity generated by fans [m/s]	Temperatura otoczenia / Ambient temperature [°C]
T2	202	18	2	3	12
T2	157	14	2	3	11
T3	119	10	2	3	9,5 / 9.5
T4	67	14	2	3	11

Dodatkowo – na podstawie wzorów zawartych w publikacjach naukowych – przeprowadzono również obliczenia matematyczne w celu porównania wartości parametrów uzyskanych dzięki symulacji oraz badań doświadczalnych przeprowadzonych w tunelu Runehamar. Podczas obliczeń wykorzystano dane literaturowe [3, 6].

Obliczenie mocy pożaru

Na podstawie równania (14) obliczono maksymalną moc pożaru, wykorzystując dane zawarte w tabeli 4. Skład materiałowy pożarów testowych został przyjęty z tabeli 2.

Tabela 4. Maksymalna szybkość wydzielania ciepła

Table 4. Maximum heat release rate

Nazwa / Name	Material / Material	Ilość / Quantity [%]	A [m ²]	$\dot{m}_f$	ΔH_f [MJ/kg]	χ	Q [MW]
T1	drewno / wood	82	1024	0,013 / 0.013	16,7 / 16.7	0,9 / 0.9	265,3 / 265.3
	materiały polietylenowe / polyethylene materials	18	1024	0,014 / 0.014	43,6 / 43.6	0,9 / 0.9	
T2	drewno / wood	82	607	0,013 / 0.013	16,7 / 16.7	0,9 / 0.9	175,9 / 175.9
	materace poliuretanowe / polyurethane mattresses	18	607	0,032 / 0.032	25	0,9 / 0.9	
T3	meble / furniture	100	268	0,02 / 0.02	25	0,9 / 0.9	120,6 / 120.6
T4	drewno / wood	81	195	0,013 / 0.013	16,7 / 16.7	0,9 / 0.9	60,0 / 60.0
	kubki polistyrenowe / polystyrene cups	19	195	0,035 / 0.035	25	0,9 / 0.9	

Preparing CFD simulation

The tunnel geometry was modelled on research papers presenting detailed descriptions of experimental tests in the Runehamar Tunnel [6]. It was, however, significantly simplified for the purposes of numerical studies. It was assumed that the tunnel was cuboidal in shape, 200 m long, 7 m wide and 5 m high. The area of the inlet was 35 m². In the Runehamar Tunnel, this area equalled 32 m². In total, four computer simulations were conducted. The time of one simulation was 900 s (for a heat release rate of 202 MW – 1100 seconds). Depending on the scenario, various heat release rates were applied (taking into account the experimental tests carried out in the Runehamar Tunnel) [6]. The times of reaching the peak heat release rate were also not the same. The constant values which appeared in every simulation included the velocity of air in the tunnel and the velocity of air sucked in by the two fans located under the ceiling.

In addition, based on the formulas presented in scientific publications, mathematic calculations were performed to compare the values of parameters obtained through simulation and experimental tests carried out in the Runehamar Tunnel. Data found in the literature [3, 6] were used in the calculations.

Calculating the heat release rate

Using formula (14), the maximum heat release rate was calculated, based on the data presented in Table 4. The material composition of the test fires was taken from Table 2.

Wyniki otrzymane z testów w tunelu Runehamar odpowiadają wynikom uzyskanym za pomocą równań matematycznych. Różnice pomiędzy nimi wynoszą około 31%, co potwierdza możliwość ich dalszego zastosowania do innych tuneli.

The results following the tests in the Runehamar Tunnel correspond to those resulting from mathematical equations. The differences amounted to approx. 31%, which confirms the possibility of their further application in relation to other tunnels.

Tabela 5. Dane wykorzystane do obliczenia maksymalnej szybkości wydzielania ciepła

Table 5. Data used in the calculation of the maximum heat release rate

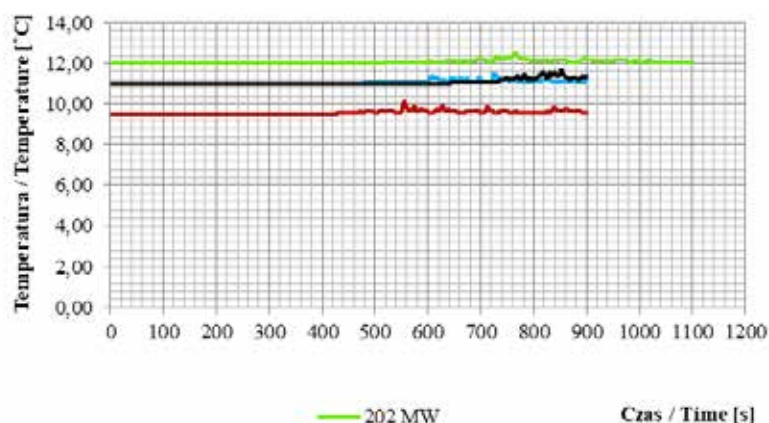
Materiał / Material	Ubytek masy paliwa na jednostkę powierzchni / Fuel mass loss per unit area [kg/m ² s]	Ciepło spalania / Heat of combustion [MJ/kg]
Olej napędowy / Diesel fuel	0,035 / 0.035	39,7 / 39.7
Drewno / Wood	0,013 / 0.013	16,7 / 16.7
Materiały polietylenowe / Polyethylene materials	0,014 / 0.014	43,6 / 43.6
Materiały poliuretanowe / Polyurethane materials	0,032 / 0.032	25,0 / 25.0
Meble / Furniture	0,020 / 0.020	25,0 / 25.0

Wyniki symulacji

Na podstawie zebranych danych z urządzeń pomiarowych umieszczonych na wysokościach 1,8 i 4,7 m wykonano wykresy zależności temperatury od czasu. Pod uwagę wzięto odległość termoelementów od źródła pożaru. Należy również zwrócić uwagę, że każde badanie osiągało maksymalną szybkość wydzielania ciepła w innym czasie. W związku z tym konieczne jest rozpatrywanie indywidualnie każdej krzywej.

Simulation results

Based on the data collected from measurement devices located at heights of 1.8 m and 4.7 m, temperature-to-time relation charts were drawn up. The distance between the thermocouples and the fire source was taken into account. It should also be noted that the maximum heat release rate was obtained in every test at different times. Therefore, it is necessary to analyse every curve individually.



Rycina 9. Pomiar temperatury w odległości 70 metrów przed źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi

Figure 9. Temperature at a distance of 70 m ahead of the fire source and at a height of 1.8 m above the floor

Na rycinie 9 wyraźnie widać, że w całym zakresie badania temperatura powietrza oraz gazów pożarowych w odległości około 70 metrów przed źródłem pożaru i na wysokości 1,8 metra oscylowała w granicach temperatury początkowej. Przy mocach pożarów 202 MW oraz 157 MW minimalne wahania temperatury rozpoczynają się po około 600 sekundach. W pożarze o najmniejszej mocy niewielkie zmiany temperatury zachodziły po około 800 sekundach, natomiast w badaniu T3 – po 450 sekundach.

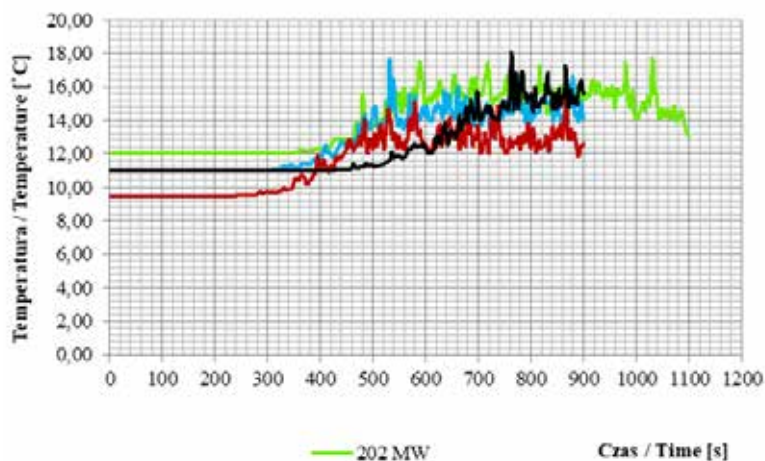
W odległościach 40, 25, 15 m przed źródłem pożaru temperatura nie przekraczała 23°C. Wzrost temperatury w badaniach T1 i T2 rozpoczął się po około 250 sekundach. Przy mocy pożaru wynoszącej 67 MW zmiana temperatury rozpoczęła się po 350 sekundach. Utrzymywanie się tak niskiej temperatury było spowodowane oddziaływaniem wzdłużnego przepły-

Figure 9 clearly shows that throughout the entire scope of the test, the air and fire gases temperatures at a distance of approx. 70 metres ahead of the fire source, as well as at a height of 1.8 m, were close to the initial temperature. With the heat release rates of 202 MW and 157 MW, the minimum temperature fluctuations started after about 600 seconds. As regards the fire with the weakest heat release rate, temperature changes were recorded after approx. 800 seconds, while in T3, after 450 seconds.

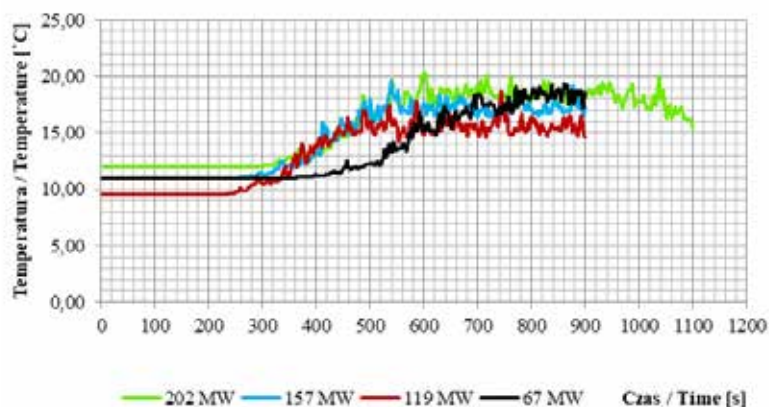
At the distances of 40, 25, and 15 m ahead of the fire source, temperature did not exceed 23°C. It started to increase in T1 and T2 after about 250 seconds. When the heat release rate equalled 67 MW, temperature started to change after 350 seconds. The fact that temperature remained at such a low level was due to the longitudinal airflow. The movement of air with a velocity of 2 m/s prevents any increase in temperature at a height of 1.8 m-

wu powietrza. Ruch powietrza o prędkości 2 m/s uniemożliwia wzrost temperatury na wysokości 1,8 m nad poziomem podłogi. Dodatkowo gorące gazy pożarowe pod wpływem sił wyporu samoistnie unosiły się do góry. Należy pamiętać, że w badaniach przyjęto różne temperatury początkowe. W związku z tym, przy tak niewielkich zmianach temperatur występowały minimalne różnice wartości maksymalnych pomiędzy krzywymi.

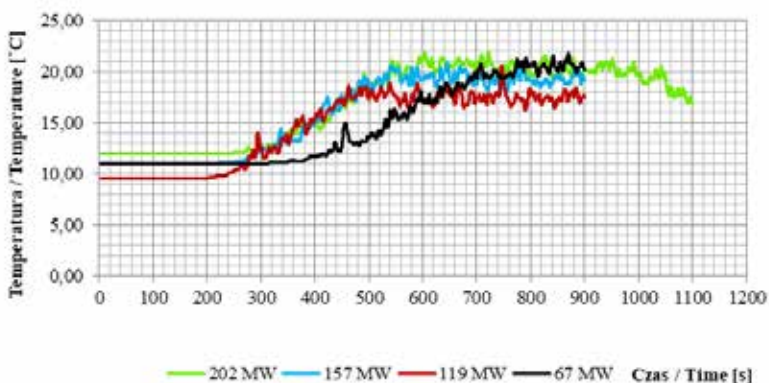
tres above the floor. In addition, hot fire gases were raised spontaneously by the buoyant force. One should bear in mind that various initial temperatures were assumed in the tests. Therefore, very slight differences in the maximum values were observed between the curves, with small changes in temperature.



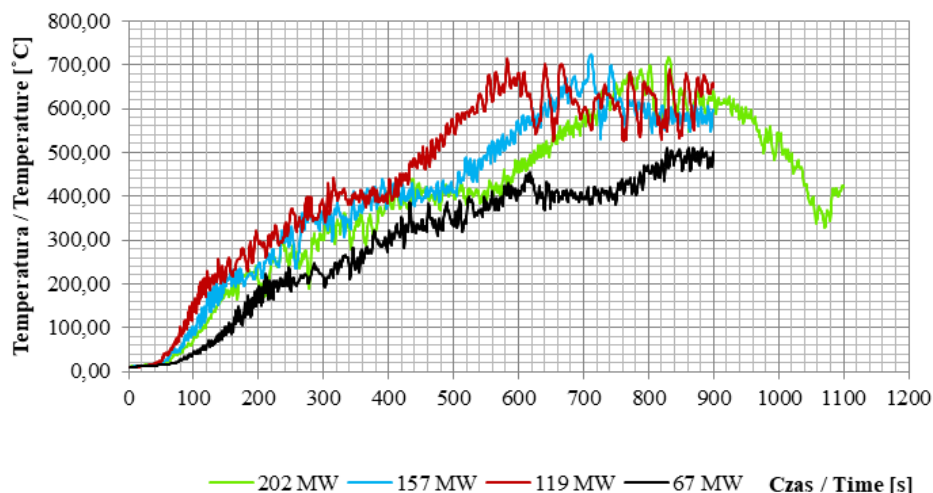
Rycina 10. Pomiar temperatury w odległości 40 m przed źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi
Figure 10. Temperature at a distance of 40 m ahead of the fire source and at a height of 1.8 m above the floor



Rycina 11. Pomiar temperatury w odległości 25 m przed źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi
Figure 11. Temperature at a distance of 25 m ahead of the fire source and a height of 1.8 m above the floor



Rycina 12. Pomiar temperatury w odległości 15 m przed źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi
Figure 12. Temperature at a distance of 15 m ahead of the fire source and a height of 1.8 m above the floor

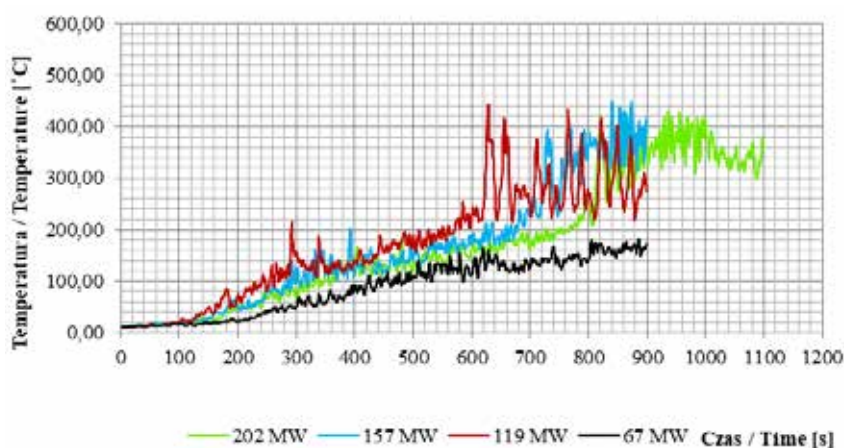


Rycina 13. Pomiar temperatury nad źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi

Figure 13. Temperature over the fire source and at a height of 1.8 m above the floor

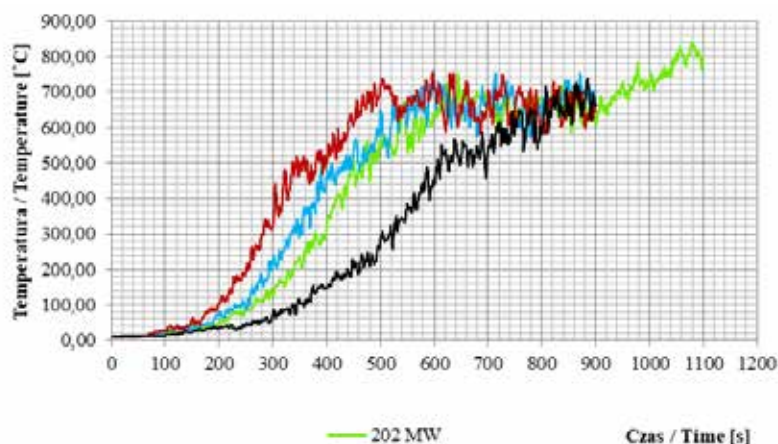
Nad źródłem pożaru, we wszystkich rozpatrywanych przypadkach, temperatura zaczęła wzrastać już po około 40 sekundach – z wyjątkiem badania T4 (po około 80 sekundach). Krzywe temperatury dla niemal wszystkich mocy pożarów wzrastały z podobną szybkością do 400 sekundy. Jedynie krzywa pożaru o mocy 67 MW wzrastała nieco wolniej. Po osiągnięciu tego czasu jej temperatura wynosiła 300°C, a pozostałych testów 400°C. Po przekroczeniu około 7 minuty, szybkość przyrostu temperatury dla poszczególnych pożarów nie była już jednokowa. Najwolniej pod względem mocy wzrastała temperatura najmniejszego pożaru (około 500°C nad źródłem). W pozostałych próbach temperatura maksymalna oscylowała w granicach 720°C. Zaobserwować można nagły skok temperatury w krótkim odstępie czasowym. Dla krzywej, która reprezentowała moc pożaru równą 119 MW, przyrost ten wystąpił w przedziale około 400–600 sekundy. Z kolei przebieg temperatury dla 157 MW wzrastał gwałtownie od około 8 do 12 minuty. Pożar o mocy 202 MW powodował najszybszy przyrost temperatury w czasie od około 10 do 13 minuty. Charakterystyczne jest, że nagły wzrost temperatury dla trzech największych mocy pożarów rozpoczął się przy temperaturze około 400°C.

In all the analysed cases, temperature started to increase above the fire source after approx. 40 seconds, except for T4 (in which case it started to grow after about 80 seconds). The temperature curves for nearly all heat release rates increased at a similar pace until 400 seconds. Only the curve for a heat release rate of 67 MW rose a bit slower. After reaching this time, its temperature was 300°C while the temperature in the other tests was 400°C. After about 7 minutes, the temperature increase rate for individual fires was no longer the same. Temperature of the smallest fire increased at the slowest rate, in terms of the heat release rate (about 500°C above the source). In the remaining tests, the maximum temperature revolved around 720°C. One can observe a sudden spike in temperature within a short period of time. For the curve which represents a heat release rate of 119 MW, this increase took place in the 400–600 seconds range, whereas for 157 MW, temperature increased rapidly from about minute 8 to minute 12. In the fire with a heat release rate of 202 MW, temperature increased at the fastest rate from about minute 10 to minute 13. It is worth noting that for the three greatest heat release rates the sudden spike in temperature took place at a temperature of approx. 400°C.



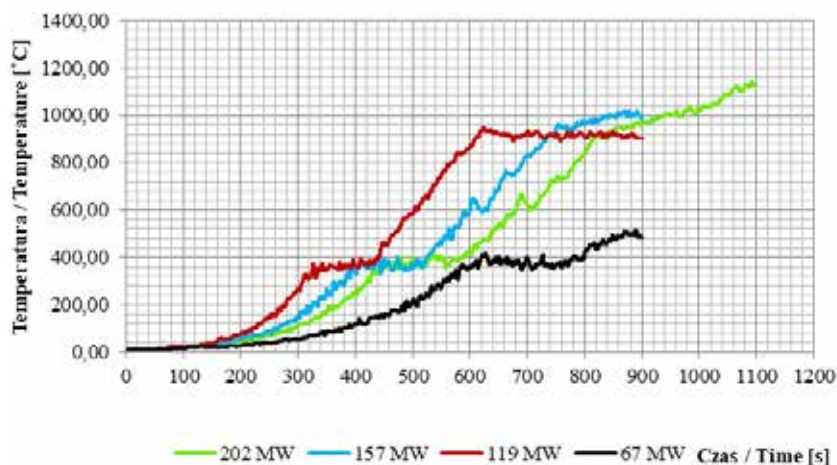
Rycina 14. Pomiar temperatury w odległości 10 m za źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi

Figure 14. Temperature at a distance of 10 m behind the fire source and at a height of 1.8 m above the floor



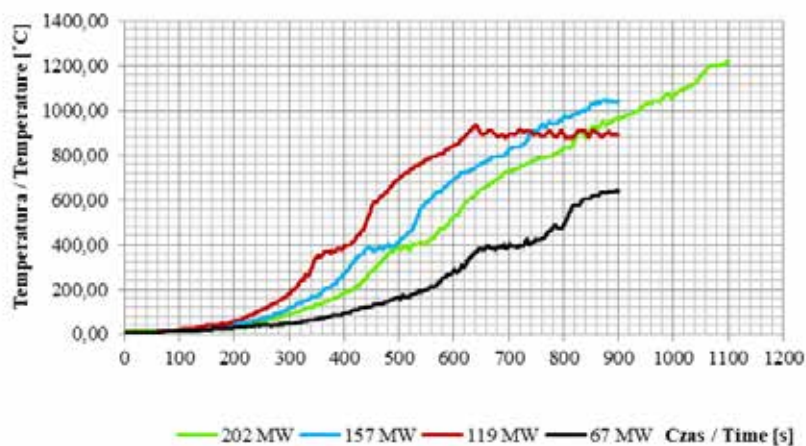
Rycina 15. Pomiar temperatury w odległości 20 m za źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi

Figure 15. Temperature at a distance of 20 m behind the fire source and at a height of 1.8 m above the floor



Rycina 16. Pomiar temperatury w odległości 40 m za źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi

Figure 16. Temperature at a distance of 40 m behind the fire source and at a height of 1.8 m above the floor



Rycina 17. Pomiar temperatury w odległości 70 m za źródłem pożaru i na wysokości 1,8 m od poziomu podłogi

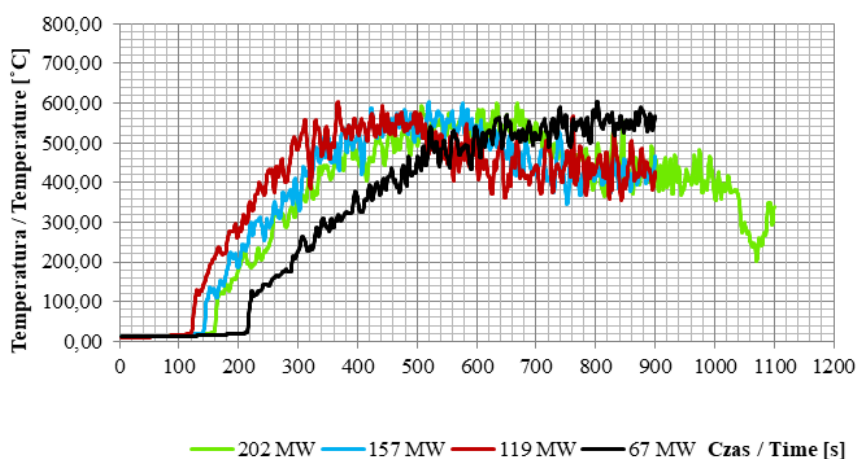
Figure 17. Temperature at a distance of 70 m behind the fire source and at a height of 1.8 m above the floor

Przedstawione przebiegi temperatury obrazują jej wzrost w czasie, który uzależniony jest od odległości za źródłem pożaru. Z obserwacji wynika, że najwyższa temperatura na wysokości 1,8 m nad poziomem podłogi występowała w odległości 40 i 70 m od pożaru, natomiast najniższą temperaturę rzędu

The presented temperature curves illustrate temperature increase over time, which depends on the distance behind the fire source. The observations indicate that the highest temperature at a height of 1.8 m above the floor occurred at the distances of 40 and 70 m to the fire, while the lowest temperature (500°C) for

500°C, dla wszystkich prób z wyjątkiem pożaru o mocy 67 MW, odnotowano 10 m za źródłem. Prawdopodobną przyczyną powyższego był brak odpowiedniego mieszania się chłodnych prądów powietrza przepływających przez centrum pożaru dzięki wentylacji wzdłużnej. W masach powietrza wystąpiła różnica ciśnień, przez co nie doszło do wymiany ciepła pomiędzy warstwami. Po upływie około 800 sekund krzywa temperatury badania o największej mocy gwałtownie wzrosła. Stało się tak w przypadku pozostałych dwóch badań o średniej mocy. W najmniejszym pożarze wykres wzrastał stabilnie, bez większych odchyśleń. Na rycinach 18 i 19 zauważyć można charakterystyczny przedział czasowy, w którym temperatura utrzymywała się na poziomie 400°C. Wnioskować można, że przepływ powietrza spowodowany działaniem wentylacji wpłynął na zatrzymanie wzrostu temperatury. W zależności od mocy pożaru zjawisko to rozpoczęło się w różnych momentach i trwało przez określony czas. W strefie podsufitowej temperatura znacząco wzrosła w porównaniu z wartościami otrzymanymi na wysokości 1,8 metra nad poziomem podłogi. W badanych odległościach od źródła pożaru temperatura rosła do określonych wartości maksymalnych, niezależnie od mocy pożaru. Różny jest natomiast czas osiągnięcia danej wartości temperatury. W badaniu, w którym przyjęto najmniejszą wartość, czas ten był najdłuższy. Działanie powietrza opóźniało znacznie akumulację ciepła w zależności od mocy pożaru. Zauważyć można, że wzrost ten następował nagle. Po osiągnięciu wartości maksymalnej temperatura nieznacznie spadała. Może to świadczyć o ustabilizowaniu się przepływu w górnych warstwach tunelu. Wraz ze zmniejszeniem odległości do źródła temperatura rosła. W odległości 70 metrów przed centrum pożaru temperatura wynosiła około 140°C, natomiast termopara umieszczona w odległości 15 metrów wskazywała na około 350°C.

all tests, except for the fire with a heat release rate of 67 MW, was recorded 10 m behind the fire source. The above was probably caused by the cold air currents, which were flowing through the fire centre due to longitudinal ventilation, not mixing properly. There was a pressure difference between the air masses, which prevented heat transfer between the layers. After about 800 seconds, the temperature curve for the highest heat release rate test increased rapidly. This was also the case for the two medium heat release rate tests. When it comes to the weakest fire, the curve increased steadily with no major deviations. Figures 18 and 19 present the characteristic period of time in which the temperature remained at 400°C. One can conclude that the airflow caused by ventilation prevented the increase in temperature. Depending on the heat release rate, this phenomenon started at different moments and lasted for a specific time. In the ceiling zone, temperature increased significantly in comparison to the values recorded at 1,8 metres above the floor. At the tested distances from the source of fire, temperature increased to certain maximum values, regardless of the heat release rate. The time needed to reach a given temperature differed. In the test in which the lowest value was assumed, this time was the longest. The impact of air significantly delayed the accumulation of heat depending on the heat release rate. Of note is the fact that this increase was of a sudden character. After reaching the maximum value, temperature dropped slightly. This can prove that the flow stabilised in the upper sections of the tunnel. Also, the smaller the distance to the source, the higher the temperature. At a distance of 70 metres ahead of the fire centre, the temperature was about 140°C, while the thermocouple located at a distance of 15 metres indicated approx. 350°C.



Rycina 18. Pomiar temperatury nad źródłem pożaru na wysokości 4,7 m od poziomu podłogi

Figure 18. Temperature over the fire source and at a height of 4.7 m from the floor

Na rycinie 18 zauważyć można charakterystyczne zjawisko. Dla pożarów o mocy 202 MW, 157 MW, 119 MW temperatura gwałtownie rosła w przedziale czasowym od 100 do 500 sekund do wartości maksymalnych. W tym okresie nastąpiło intensywne wydzielanie gorących gazów. Po około ośmiu minutach krzywe zaczęły opadać. Świadczy to o ustabilizowaniu się przepływu powietrza nad źródłem. Nadmiar ciepła

Figure 18 shows a characteristic phenomenon. For fires with heat release rates of 202 MW, 157 MW and 119 MW, temperature increased rapidly from second 100 to second 500, to reach the maximum values. Hot gases were intensively generated within this period. After about eight minutes, the curves started to drop. This indicates that the airflow above the source became stabilised. Excess heat was transported by the ventilation sys-

został przetransportowany za pomocą wentylacji ku wylotowi z tunelu. W krzywej opisującej badanie z użyciem mocy pożaru równej 67 MW nie zanotowano takiego zjawiska. Wentylacja na bieżąco odprowadzała nadmiar gorących gazów pożarowych ku krańcowi tunelu. Na podstawie przeprowadzonych badań numerycznych zauważyć można, że większa część gorących gazów pożarowych transportowana była zgodnie z kierunkiem przepływu powietrza wymuszonego przez wentylację. Wraz z tymi gazami przenoszono ciepło. Wartość temperatury maksymalnej została osiągnięta 10 metrów za źródłem pożaru oraz oscylowała w granicach 1400°C. Maksymalna temperatura podczas pożaru w tunelu została obliczona na podstawie równań (22) i (23).

Tabela 6. Dane przyjęte do obliczeń maksymalnej temperatury

Table 6. Data used for the calculation of the maximum temperature

Numer testu / Test number	Q [kW]	$\dot{g}$ [m/s ²]	A [m ²]	b_{f0} [m]	ρ_0 [kg/m ³]	c_p [kJ/KgK]	T_0 [K]	u_0 [m/s]
T1	202000	9,81 / 9.81	1024	36,11729 / 36.11729	1,2 / 1.2	1,012 / 1.012	285	2
T2	157000	9,81 / 9.81	607	27,80734 / 27.80734	1,2 / 1.2	1,012 / 1.012	284	2
T3	119000	9,81 / 9.81	268	18,47705 / 18.47705	1,2 / 1.2	1,012 / 1.012	282,5 / 282.5	2
T4	67000	9,81 / 9.81	195	15,76095 / 15.76095	1,2 / 1.2	1,012 / 1.012	284	2

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 7. Wyniki obliczeń maksymalnej temperatury

Table 7. Calculation results of maximum temperature

Numer testu / Test number	Q [kW]	H_{ef} [m]	T [°C]
T1	202000	4	1350
T2	157000	4	1350
T3	119000	4	1350
T4	67000	4	1350

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Porównując wartości maksymalne uzyskane w symulacjach numerycznych w programie Fire Dynamics Simulator z wartościami obliczonymi na podstawie prostych modeli kalkulacyjnych, można stwierdzić, że poszczególne wartości temperatury maksymalnej w zależności od mocy pożaru odpowiadają sobie nawzajem. Świadczy to o tym, że model został wykonany poprawnie i zjawiska w nim zachodzące odwzorowują rzeczywistość.

Na rycinach 19–22 zaprezentowano pola rozkładu temperatury w zależności od mocy pożaru. Wentylacja, która wymuszała wzdłużny przepływ powietrza, oddziaływała na ogień, powodując przepływ gorących gazów pożarowych w stronę otworu wylotowego z tunelu. W zależności od symulacji, gradacja temperatury wzdłuż tunelu była różna. Na rycinach dobrze widoczne jest oddziaływanie przepływającego powietrza na temperaturę na wysokości 1,8 m od podłogi tunelu. Widać tam, że wysoka temperatura gromadziła się pod sufitem, natomiast świeże

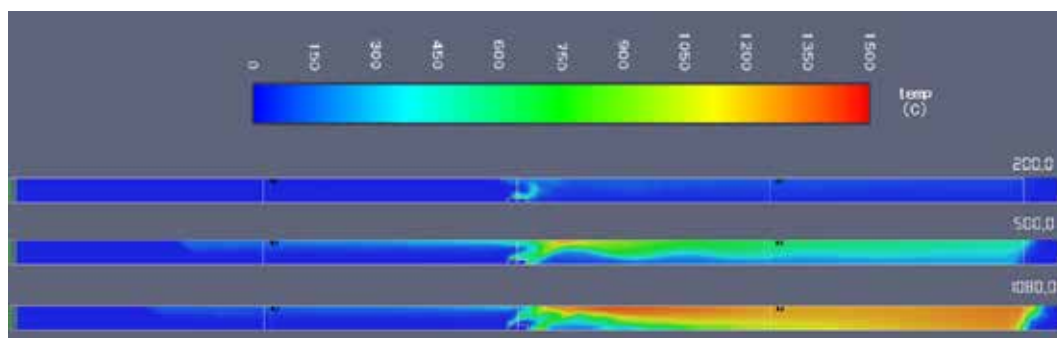
tem to the outlet. No such phenomenon was observed as regards the curve illustrating a 67 MW fire. The ventilation system continuously discharged excess hot fire gases to the end of the tunnel. Based on the conducted numerical studies, one can observe that the major part of the hot fire gases was transported in the direction of the airflow forced by the ventilation system. Heat was transported along with these gases. The maximum temperature was reached 10 metres behind the fire source and fluctuated around 1400°C. The maximum temperature during a tunnel fire was calculated using formulas (22) and (23).

After comparing the maximum values obtained in the numerical simulations performed in the Fire Dynamics Simulator with the values calculated with simple calculation models, one can state that the individual values of the maximum temperature correspond to one another, depending on the heat release rate. This proves that the model was designed correctly, and also that the phenomena observed within it reflect real conditions.

Figures 19–22 demonstrate temperature distribution for various heat release rates. The ventilation forcing the longitudinal airflow exerted an impact on the fire, resulting in the flow of hot fire gases towards the tunnel outlet. Depending on the simulation, the temperature gradient in the tunnel varied. The figures clearly show the impact of the airflow on the temperature at a height of 1.8 m above the floor of the tunnel. It can be noted that high temperature was accumulated under the ceiling, and low-temperature fresh air reached the fire centre. Hot

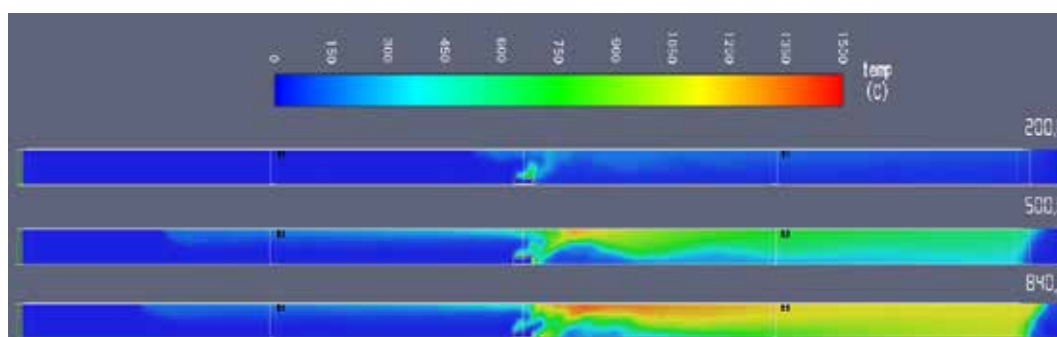
powietrze o niskiej temperaturze docierało do centrum pożaru. Gorące gazy pożarowe nie rozprzestrzeniały się wraz z dymem w kierunku przeciwnym do kierunku działania wentylacji.

fire gases did not spread with smoke in the direction opposite to ventilation.



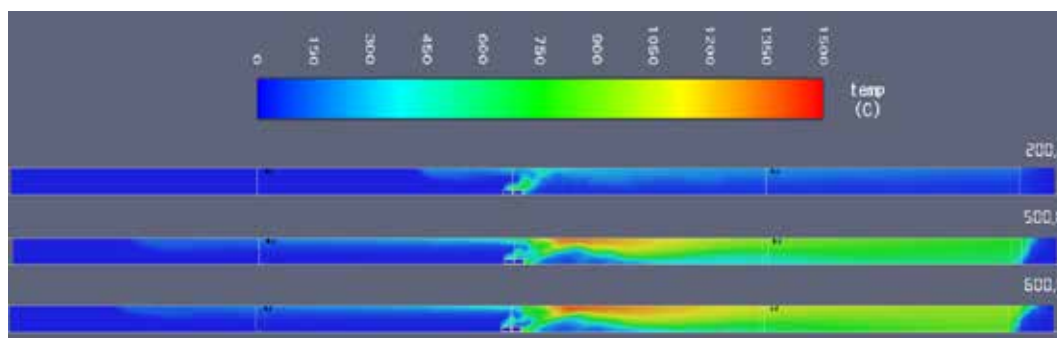
Rycina 19. Pole rozkładu temperatury, Y = 5, T1

Figure 19. Temperature distribution, Y = 5, T1



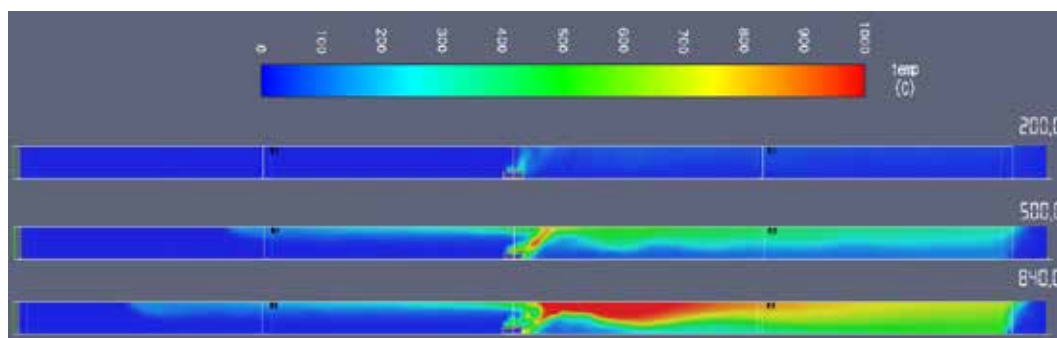
Rycina 20. Pole rozkładu temperatury, Y = 5, T2

Figure 20. Temperature distribution, Y = 5, T2



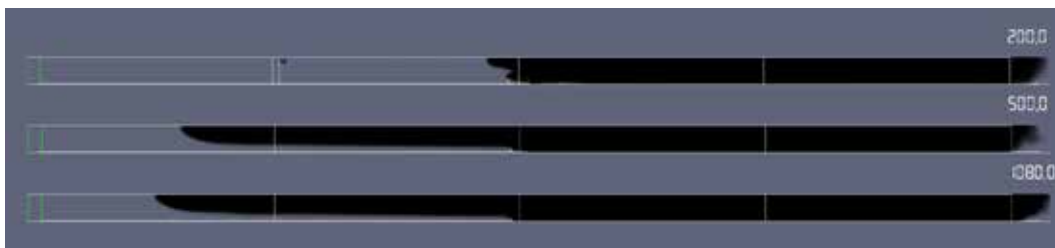
Rycina 21. Pole rozkładu temperatury, Y = 5, T3

Figure 21. Temperature distribution, Y = 5, T3



Rycina 22. Pole rozkładu temperatury, Y = 5, T4

Figure 22. Temperature distribution, Y = 5, T4



Rycina 23. Wizualizacja przepływającego dymu, Y = 5, T1

Figure 23. Smoke movement visualisation, Y = 5, T1



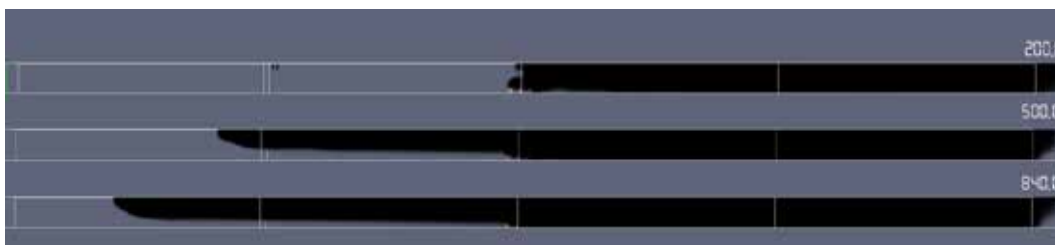
Rycina 24. Wizualizacja przepływającego dymu, Y = 5, T2

Figure 24. Smoke movement visualisation, Y = 5, T2



Rycina 25. Wizualizacja przepływającego dymu, Y = 5, T3

Figure 25. Smoke movement visualisation, Y = 5, T3



Rycina 26. Wizualizacja przepływającego dymu, Y = 5, T4

Figure 26. Smoke movement visualisation, Y = 5, T4

Na podstawie rycin 23–26 zauważyć można, że przy każdej mocy pożaru występował efekt cofania się dymu, zwany w literaturze jako *backlayering* [3]. Jak przedstawiają wizualizacje, długość odcinka dymu dla wszystkich testów była podobna przy osiągnięciu maksymalnej mocy. Rycina 26 pokazuje, że w symulacji T4 w pierwszej fazie pożaru dym nie cofał się. Prędkość powietrza była wystarczająca, aby zatrzymać gazy pożarowe. Podobnie sytuacja wygląda w symulacji T1. W czasie do 200 sekund dym nieznacznie zaczął się cofać. Największą długość *backlayering*u odnotowano w badaniu T3. Po około 8 minutach długości odcinków cofającego się dymu we wszystkich badaniach wyrównały się. Prędkość powietrza w tunelu nie spowodowała zatrzymania rozprzestrzeniania się dymu. Niezależnie od mocy pożaru raz z jego rozwojem dym przemieszczał się

Based on Figures 23–26, one can observe a phenomenon referred to as *backlayering* [3] with every heat release rate. As presented in the visualisations, the length of the smoke section for all the tests was similar once the maximum heat release rate was reached. Figure 26 shows that in T4, in the initial stage of the fire, no *backlayering* was observed. The airflow velocity was sufficient to stop the fire gases. A similar situation was observed in T1. Within 200 seconds smoke started to move back slightly. The longest *backlayering* was recorded in T3. After about 8 minutes, the length of the *backlayering* sections of smoke levelled off in all the tests. Air velocity in the tunnel did not stop the spread of smoke. Irrespective of the heat release rate, as the fire developed, the smoke moved opposite to the airflow direction up to the point where it stopped. In all cases, the smoke stop-

niezgodnie z kierunkiem przepływu powietrza aż do miejsca, w którym się zatrzymał. We wszystkich przypadkach dym zatrzymał się w podobnej odległości od źródła pożaru. Na podstawie równań (1) i (2) obliczono długości odcinka cofającego się dymu. Wyniki zostały przedstawione w tabelach 8 i 9. Według obliczeń długość odcinka powinna wynosić około 40 metrów i być jednakowa dla wszystkich mocy pożaru. Prędkość wzdłużna powietrza, którą należałoby wytworzyć, aby zapobiec cofaniu się dymu, wynosi około 3 m/s.

ped at a similar distance to the fire source. Using equations (1) and (2), the length of the section of backlayering smoke was calculated. The results are presented in Tables 8 and 9. Based on the calculations performed, the length of this section should be approx. 40 metres, and it should not differ for any of the heat release rates. The longitudinal air velocity which should be generated to prevent backlayering is approx. 3 m/s.

Tabela 8. Dane wykorzystane do obliczeń długości odcinka cofającego się dymu oraz prędkości krytycznej

Table 8. Data used for the calculation of the backlayering effect and critical velocity

Nr testu / Test number	Q [kW]	ρ_0 [kg/m ³]	c_p [kJ/kgK]	g [m/s ²]	T_0 [K]	H [m]	u_0 [m/s]
T1	202000	1,2 / 1.2	1,012 / 1.012	9,81 / 9.81	285	5	2
T2	157000	1,2 / 1.2	1,012 / 1.012	9,81 / 9.81	284	5	2
T3	119000	1,2 / 1.2	1,012 / 1.012	9,81 / 9.81	282,5 / 282.5	5	2
T4	67000	1,2 / 1.2	1,012 / 1.012	9,81 / 9.81	284	5	2

Tabela 9. Długość cofającego się dymu oraz prędkość krytyczna

Table 9. Backlayering length and critical velocity

Nr testu / Test number	L_b [m]	u_c [m/s]
T1	37,86051 / 37.86051	3,011535 / 3.011535
T2	37,86051 / 37.86051	3,011535 / 3.011535
T3	37,86051 / 37.86051	3,011535 / 3.011535
T4	37,86051 / 37.86051	3,011535 / 3.011535

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie wykonanych badań numerycznych przybliżono zjawiska, jakie zachodzą w trakcie pożaru w tunelu drogowym. Otrzymane dane można analizować i interpretować, wyciągając przy tym wnioski, które przyczynią się do zwiększenia bezpieczeństwa w tunelach. Jednym z najważniejszych aspektów, który ma bezpośredni wpływ na bezpieczeństwo ludzi podczas pożaru, jest dobór odpowiedniego systemu wentylacji. Na rynku istnieje wiele rozwiązań systemowych, posiadających zarówno wady, jak i zalety. W badanych przypadkach wykorzystano wentylację wzdłużną wraz z dwoma wentylatorami wywiewnymi. Wentylacja wzdłużna wytwarzała przepływ powietrza o prędkości 2 m/s w całym przekroju tunelu. Zadaniem wentylatorów było usuwanie dymu i toksycznych produktów spalania. Na podstawie otrzymanych wyników można stwierdzić, że przepływ powietrza o prędkości 2 m/s ogranicza rozprzestrzenianie się ciepła na wysokości 1,8 m od poziomu podłoża tunelu, niezależnie od mocy pożarów przyjętych w badaniach. Najwcześniej temperatura zaczęła wzrastać dla pożaru o mocy 119 MW, a najpóźniej dla pożaru o mocy 67 MW. W dalszych częściach tunelu temperatura zmieniała się w wąskim zakresie i nie przekroczyła 22°C. Temperatura nad źródłem dochodziła do wartości 700°C, natomiast za centrum pożaru maksymalna temperatura wyno-

Summary and conclusions

The phenomena that occur during a fire in road tunnels were described based on the numerical tests carried out. The obtained data can be analysed and interpreted, and conclusions can be drawn to improve safety in tunnels. The selection of the appropriate ventilation system is one of the most important aspects influencing the safety of people during a fire. There are many system solutions available on the market, which have their advantages and disadvantages. In the cases studied, longitudinal ventilation was used along with two exhaust fans. Longitudinal ventilation generated airflows at a velocity of 2 m/s in the entire tunnel cross-section. The purpose of the fans was to remove smoke and toxic products resulting from the combustion process. Based on the obtained results, it can be concluded that an airflow rate of 2 m/s reduces the spread of heat at a height of 1.8 m from the floor of the tunnel, regardless of the heat release rates adopted in the tests. The temperature started to increase firstly for a 119 MW fire, and at the latest for a 67 MW fire. In further sections of the tunnel, temperature changed to a very limited extent and did not exceed 22°C. Above the source, temperature reached 700°C, while behind the fire centre the maximum temperature was approx. 1200°C. An analysis of temperature curves at a height of 1.8 m above the floor confirmed that,

siła około 1200°C. Analiza wykresów temperatur dla wysokości 1,8 m nad poziomem podłogi potwierdza, że mimo różnych mocy pożaru przyjętych w symulacjach, wentylacja powodowała zahamowanie rozprzestrzeniania się ciepła w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu powietrza. Ciepło było transportowane ku otworowi wylotowemu z tunelu. Podobnie wyglądał rozkład temperatur dla strefy podsufitowej. W odległości 15 m od centrum pożaru temperatura wynosiła około 350°C. Wraz ze wzrostem dystansu od źródła w stronę otworu wlotowego temperatura malała. W odległości 10 m za centrum pożaru temperatura osiągała swoją maksymalną wartość. W zależności od mocy pożaru czas osiągnięcia tej temperatury był różny. Wpływ wentylacji ograniczał kumulowanie się ciepła w jednym miejscu. Skuteczność wentylacji zależała od mocy pożaru, a także od czasu, który potrzebny jest do osiągnięcia jej maksymalnej wartości. Skuteczność ta była większa – to znaczy temperatura wzrastała po dłuższym czasie od rozpoczęcia spalania – dla pożarów T4 i T1. Najbardziej widoczne różnice w skuteczności działania wentylacji widać na rycinie 18. W badaniu z najmniejszą mocą źródła pożaru czas potrzebny do uzyskania temperatury około 400°C był o 300 sekund dłuższy, niż w badaniu z wykorzystaniem mocy równej 119 MW. Od szybkości wydzielania ciepła zależy także ilość wydzielanego dymu. Wentylacja zastosowana w symulacjach nie zapobiegała tworzeniu się *backlayeringu*. Długość odcinka dymu przemieszczającego się w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu powietrza w każdym z badań sięgała około 70 m po czasie osiągnięcia maksymalnej mocy pożaru. Moment, w którym rozpoczynał się efekt *backlayeringu* zależał od ilości wydzielanego ciepła w jednostce czasu, a także od prędkości powietrza wytworzonej przez wentylację. Porównując symulacje, w której wykorzystano moc pożaru równą 119 MW i 67 MW, zauważyć można, że dym w symulacji T4 nie cofa się po 200 sekundach, a w symulacji T3 proces cofania już się rozpoczął. Wraz ze zmniejszeniem mocy pożaru wydzielanej w jednostce czasu skuteczność wentylacji rośnie. Z wykonanych badań wynika, że wentylacja najskuteczniej działała w badaniu T4, zaś jej najmniejszą skuteczność uzyskano w symulacji T3. Wraz z rozprzestrzenianiem się dymu zmniejszała się widoczność. Przepływ powietrza sprawił że warstwy dymu zaczęły się mieszać. Zaburzało to stratyfikację oraz obniżało widzialność za centrum pożaru. W związku z tym skuteczność wentylacji malała. Zauważyć można, że w 30 sekundzie badania widoczność zarówno przed, jak i za źródłem pożaru, na wysokości 1,8 m dla wszystkich symulacji umożliwiała bezpieczną ewakuację. Przepływ powietrza powodował kumulowanie się dymu przy ścianach tunelu. W pożarach, w których zastosowano moc źródła wynoszącą 157 MW i 119 MW po upływie 60 sekund, widoczność do około 50 m za centrum pożaru znacząco się pogorszyła. Duże ilości dymu wydzielane podczas tych pożarów mieszają się z wtłaczanym powietrzem, doprowadzając do zaburzenia stratyfikacji. Wraz ze wzrostem mocy pożaru przypadającej na jednostkę czasu zwiększała się ilość wydzielonego dymu. Powodowało to obniżenie skuteczności wentylacji. Na podstawie pomiarów prędkości powietrza wykonanych nad źródłem pożaru stwierdzono, że ruch powietrza na wysokościach 1,8 i 3,25 m odbywał się zgodnie z kierunkiem przepływu wytworzonym przez wentylację wzdłużną. W strefie

despite the differences in the heat release rates assumed in the simulations, ventilation slowed down the spread of heat in the direction opposite to the airflow. The heat was transported towards the tunnel outlet. The temperature distribution for the ceiling zone was similar. At a distance of 15 m to the fire centre, temperature reached the level of around 350°C. Moving towards the outlet, as the distance between the fire source increased, the temperature levels decreased. At a distance of 10 metres behind the fire centre, temperature reached its maximum value. The time of reaching this temperature varied depending on the heat release rate. The impact of ventilation limited the accumulation of heat in a single spot. The effectiveness of ventilation depended on the heat release rate, as well as on the time needed for it to reach the maximum value. This efficiency improved, i.e., the temperature increased after a longer period of time from the combustion, for T4 and T1 fires. The most striking differences in ventilation efficiency can be seen in Figure 18. In the test with the lowest heat release rate, the time needed to reach a temperature of approx. 400°C was by 300 seconds longer than in the test of a fire with a heat release rate of 119 MW. The heat release rates also determine the amount of smoke generated. The ventilation applied in the simulations did not prevent *backlayering*. The length of the section of smoke moving in the opposite direction to the airflow in each of the tests equalled about 70 m after the maximum heat release rate had been reached. The moment of the onset of *backlayering* depended on the amount of heat generated in a unit of time, as well as on the velocity of the airflow generated by ventilation. By comparing the simulations with heat release rates of 119 MW and 67 MW, it can be noted that smoke in T4 does not backlayer after 200 seconds, and that it has already started in T3. The efficiency of ventilation improves as the heat release rate per a unit of time decreases. The results of the study demonstrate that ventilation was the most effective in T4, and the least effective in T3. Visibility decreased along with the spread of smoke. Airflow resulted in the mixing of smoke layers. This disturbed stratification and reduced visibility behind the fire centre. Thus, the efficiency of ventilation decreased. One can note at second 30 of the test that the visibility both ahead of and behind the fire source, at a height of 1.8 m, allowed safe evacuation in all simulated scenarios. The airflow resulted in the accumulation of smoke near the walls of the tunnel. In the fires with heat release rates of 157 MW and 119 MW, visibility behind the fire centre deteriorated significantly after 60 seconds. Large volumes of smoke generated during these fires mix up with the force-fed air, causing disturbed stratification. As the heat release rate per unit of time increased, the amount of the generated smoke grew. This caused a decrease in ventilation efficiency. Based on air velocity measurements taken above the fire source, it was found that at heights of 1.8 m and 3.25 m air moved in the direction of the flow generated by longitudinal ventilation. In the ceiling zone, the airflow velocity was insufficient to prevent the spread of smoke and temperature towards the tunnel inlet. The heat release rate had a minimum impact on these velocities, but it influenced the time required to reach them. Due to the phenomena taking place under the ceiling, the airflow velocities were unstable. The efficiency of fire ventilation in road

podsufitowej prędkości przepływu powietrza nie była wystarczająca, aby zapobiec rozprzestrzenianiu się dymu i temperatury w stronę otworu wlotowego do tunelu. Moc pożaru miała minimalny wpływ na te prędkości, jednakże oddziaływała na czas ich osiągnięcia. W wyniku zjawisk zachodzących pod sufitem prędkości przepływu powietrza były niestabilne. Skuteczność wentylacji pożarowej zastosowanej w tunelu drogowym zależy od wielu czynników. Badania przeprowadzone w pracy pozwalają na stwierdzenie, że skuteczność wentylacji zależy między innymi od mocy pożaru wydzielanej w jednostce czasu. Wraz ze wzrostem tego parametru maleje skuteczność systemów odprowadzania dymu i gorących gazów pożarowych. Podczas badań nie zauważono wpływu wentylatorów wyciągowych na skuteczność działania wentylacji pożarowej. Aby określić ten wpływ, należy przeprowadzić dodatkowe badania. Dodatkowo należałoby kontynuować przedmiotowe badanie z użyciem mniejszych siatek obliczeniowych, np. 10 x 10 cm, jak również przy zastosowaniu innych modeli turbulencji. Pozwoliłoby to na dokonanie szerszej oceny wpływu ruchów powietrza wokół wentylatorów na przepływ w całym przekroju tunelu.

tunnels is conditional on a number of factors. The tests carried out within this work allow us to conclude that the efficiency of fire ventilation depends, among other things, on the heat release rate in a unit of time. As this parameter grows, the efficiency of smoke and hot fire gas extraction systems decreases. During the tests, the exhaust fans were found to have no impact on the effectiveness of fire ventilation. In order to determine it, further tests should be conducted. In addition, the study at hand should be continued using smaller grids, e.g. 10 x 10 cm, also with other turbulence models applied. This would make it possible to evaluate, in broader terms, the impact of air movement around the ventilators on the airflow in the entire tunnel cross-section.

Literatura / Literature

- [1] Mizieleński B., Kubicki G., *Wentylacja pożarowa. Oddymianie*, WNT, Warszawa 2012.
- [2] Pofit-Szczepańska M., Półka M., *Zabójcze produkty spalania*, „Przegląd Pożarniczy” 2014, 7.
- [3] Inganson H., Li Y.Z., Lönnemark A., *Tunnel fire dynamics*, Springer, 2015.
- [4] McGrattan K., McDermott R., Weinschenk C., Overholt K., Hostikka S., Floyd J., *Fire Dynamics Simulator User's Guide*, National Institute of Standards and Technology Special Publication 1019, 2013.
- [5] <http://pyrosim.pl/> [dostęp: 28.11.2018].
- [6] Nawrat S., Napieraj S., Schmidt-Polańczyk N., *Zastosowanie modelowania numerycznego dla oceny bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego z wentylacją wzdłużną w warunkach pożaru*, Budownictwo podziemnej bezpieczeństwa w komunikacji drogowej i infrastrukturze miejskiej, AGH, Kraków 2016.
- [7] Inganson H., Li Y.Z., Lönnemark A., *Runehamar tunnel fire tests*, “Fire Safety Journal” 2015, 71, 134–149.

BRYG. DR HAB. INŻ. RAFAŁ POROWSKI – w roku 2002 ukończył studia na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. W 2013 r. uzyskał stopień doktora nauk technicznych na Wydziale Mechanicznym Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej, a w 2019 r. stopień doktora habilitowanego nauk technicznych na Wydziale Instalacji Budowlanych, Hydrotechniki i Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej. Jest adiunktem na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Specjalność – procesy spalania i modelowanie numeryczne. Od 2018 r. pełni funkcję zastępcy dyrektora Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpowodzi – PIB.

MŁ. KPT. INŻ. PAWEŁ BAŃKOWSKI – absolwent dziennych studiów inżynierskich na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej, oficer Państwowej Straży Pożarnej.

MŁ. BRYG. MGR INŻ. WOJCIECH KLAPSA – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie (2004) i Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie (2006) Wydziału Chemii. Służbę rozpoczął

BRIG. RAFAŁ POROWSKI, D.SC. ENG. – in 2002 he graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering of the Main School of Fire Service. In 2013 he obtained the degree of Doctor of Technical Sciences at the Faculty of Power and Aeronautical Engineering of the Warsaw University of Technology, and in 2019 he was conferred a post-doctoral degree in technical sciences at the Faculty of Building Services, Hydro and Environmental Engineering of the Warsaw University of Technology. Currently works as an Assistant Professor at the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering of the Kielce University of Technology. He specialises in combustion processes and numerical modelling. Since 2018, he has been Deputy Director of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute.

JUNIOR CPT. PAWEŁ BAŃKOWSKI, ENG. – a graduate of the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service. He is an officer of the State Fire Service.

JUNIOR BRIG. WOJCIECH KLAPSA, M.SC. ENG. – graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw (2004) and the Military University of Technology in Warsaw (2006) in chemistry. He began

w Jednostce Ratowniczo-Gaśniczej KM w Warszawie, a następnie podjął służbę w Komendzie Wojewódzkiej PSP w Warszawie w wydziale kontrolno-rozpoznawczym. Obecnie pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodzi Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości na stanowisku zastępcy kierownika. Autor lub współautor artykułów o tematyce bezpieczeństwa pożarowego oraz właściwości palnych materiałów budowlanych. W CNBOP-PIB zajmuje się tematyką ekspertyz technicznych budynków, opinii sądowych w zakresie ustalania przyczyn pożarów oraz badaniami w zakresie reakcji na ogień wyrobów budowlanych, a także wyznaczaniem parametrów wybuchowych substancji palnych. Prelegent na konferencjach krajowych i zagranicznych, a także wykładowca podczas ćwiczeń oraz warsztatów i treningów na szkoleniach i kursach.

MGR INŻ. MARIOLA STARZOMSKA – asystent na Wydziale Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej, gdzie w Katedrze Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej zajmuje się badaniami naukowymi w obszarze fizyki budowli oraz budownictwa.

MGR INŻ. ARTUR WIĘCKOWSKI – pracownik Wydziału Inżynierii Środowiska, Geomatyki i Energetyki Politechniki Świętokrzyskiej, gdzie w Katedrze Fizyki Budowli i Energii Odnawialnej zajmuje się badaniami naukowymi w obszarze fizyki budowli oraz budownictwa.

his service in the Firefighting and Rescue Unit of the municipal fire brigade in Warsaw and then took up work in the Inspection and Identification Department of the Regional Headquarters of the State Fire Service in Warsaw. He is currently employed as the Deputy Head of the Combustion Processes and Explosion Laboratory of CNBOP-BIP in Józefów. Author or co-author of articles on the subject of fire safety and properties of flammable construction materials. His work at CNBOP-BIP focuses on technological evaluations of buildings, court opinions on the causes of fires and tests of reaction-to-fire performance of construction products, as well as the determination of explosive parameters of flammable substances. He has spoken at national and international conferences and worked as a lecturer teaching classes and conducting training sessions as part of various courses.

MARIOLA STARZOMSKA, M.SC. ENG. – an assistant at the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology, where in the Department of Building Physics and Renewable Energy she carries out research in building physics and construction.

ARTUR WIĘCKOWSKI, M.SC. ENG. – an employee at the Faculty of Environmental, Geomatic and Energy Engineering, Kielce University of Technology, where in the Department of Building Physics and Renewable Energy she carries out research in building physics and construction.



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.

Jedyna taka publikacja na polskim rynku*



GASZENIE POŻARÓW WEWNĘTRZNYCH

Rozgorzenie i spalanie
gazów pożarowych, metody gaśnicze,
taktyka działań, szkolenie
w warunkach rzeczywistych

Adrian Ridder

Ulrich Cimolino

Martin Fuchs

Jan Südmersen

Guido Volkmar

Tłumaczenie i redakcja: Jan Kielin



przedstawia **rzeczywisty stan nauki i techniki** w zakresie gaszenia
pożarów wewnętrznych



w kompleksowy sposób prezentuje **zagadnienia dynamiki pożaru, metod
i technik gaszenia pożarów wewnętrznych, technik wentylacji taktycznej
oraz kwestie szkolenia strażaków w warunkach realnego pożaru**



podstawy dotyczące procesów chemiczno-fizycznych zachodzących
podczas spalania



dokładne definicje zjawisk pożarowych, które nigdzie wcześniej nie
zostały opisane

ZAMÓW SWÓJ EGZEMPLARZ NA WWW.CNBOP.PL

* Publikacja została oparta na realiach systemu ratowniczego w Niemczech, jednak posiada odniesienie do systemu ratowniczo-gaśniczego funkcjonującego w Polsce.

mgr Marta Iwańska^{a)}, mgr inż. Katarzyna Jankowska^{a)}, mgr Agnieszka Kowalczyk^{a)*}

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

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

Zmiany w zakresie wymagań wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych służących ochronie przeciwpożarowej znakowanych znakiem budowlanym

Changes to the Scope of Requirements for the Placing or Making Available on the Domestic Market of Construction Products Used for Fire Protection Marked with a Construction Mark

Изменения в объеме требований для введения в оборот или размещения на национальном рынке строительных изделий, используемых для противопожарной защиты, отмеченных знаком изделия для строительства

ABSTRAKT

Cel: Wyroby budowlane, które stosowane są w ochronie przeciwpożarowej, muszą spełniać wymagania ustawodawcy w zakresie wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów służących ochronie przeciwpożarowej znakowanych znakiem budowlanym. W artykule porównano nowe rozporządzenie dotyczące tego zagadnienia z wcześniej obowiązującym aktem prawnym – w celu wykazania wprowadzonych zmian.

Wprowadzenie: Na początku 2017 roku weszło w życie nowe rozporządzenie dotyczące sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym odnoszące się również do wyrobów stosowanych w ochronie przeciwpożarowej. Jego zapisy zostały zmienione rozporządzeniem z 2018 roku. Nowy akt prawny zawiera inne wymagania w zakresie wprowadzenia do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych znakowanych znakiem budowlanym w odniesieniu do rozporządzenia obowiązującego do tej pory. Zmiany są na tyle znaczące, iż konieczne jest ich przeanalizowanie w kontekście wcześniejszego rozporządzenia. Istotne jest to, iż wprowadzone rozporządzenie jest zbliżone do zapisów rozporządzenia UE nr 305/2011 dotyczącego wyrobów budowlanych. Autorzy poświęcili uwagę nie tylko zmienionym oraz nowym wymaganiom dla wyrobów budowlanych, ale również wyrobom, które zostały dodane do wykazu wyrobów podlegających procesowi certyfikacji w celu wprowadzania ich do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym i znakowania znakiem budowlanym (dodano aż pięć nowych podgrup w grupie stałych urządzeń przeciwpożarowych). Przedstawiono również zakres oceny wykonywanej podczas wprowadzania wyrobów do obrotu lub udostępniania ich na rynku krajowym wraz z podziałem obowiązków spoczywających na producentach i jednostce certyfikującej, uzależnionych od poszczególnych systemów krajowych. Ponadto zaprezentowane zostały zmiany dotyczące nazewnictwa i zakresu specyfikacji technicznych będących podstawą do przeprowadzania procesów certyfikacji.

Metodologia: W celu przedstawienia różnic pomiędzy dwoma aktami prawnymi przeanalizowano zawarte w nich wymagania, jak również przedstawiono nowe wymagania zawarte w rozporządzeniu z 2016 roku (obowiązującym od 2017 roku), zmienionym rozporządzeniem z 2018 roku.

Wnioski: Niniejszy artykuł przedstawia zależności i różnice między systemem oceny zgodności obowiązującym do 31 grudnia 2016 r. a systemem oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wprowadzonym od 1 stycznia 2017 r. oraz związane z nimi konsekwencje.

Słowa kluczowe: ochrona przeciwpożarowa, wyrób budowlany, certyfikacja, znak budowlany

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 03.12.2018; Zrecenzowany: 18.12.2018; Zatwierdzony: 20.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: M. Iwańska – 0000-0003-4815-7296; K. Jankowska – 0000-0001-9678-2542; A. Kowalczyk – 0000-0002-5815-2037;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 168–183, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.10>;

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

ABSTRACT

Purpose: Construction products used for the purposes of fire protection must meet the statutory requirements for the placing or making available on the domestic market of construction products for fire protection marked with a construction mark. The amendments introduced in the new regulation are compared with the previous legislation to indicate the introduced changes.

Introduction: At the beginning of 2017 a new regulation concerning the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark, including for products used in fire protection, amended by the Regulation of 2018 entered into force. The significance of these changes necessitates their analysis in the context of the previous regulation. It is important that the introduced regulation bear similarity to the provisions of EU Regulation No 305/2011 on construction products. In addition to the amended and new requirements for construction products, the authors devoted attention to the new products that were added to the list of products subject to the certification process for placing or making available on the domestic market and marking with a construction mark (the new regulations added as many as five new subgroups contained in the group "Fixed fire-fighting systems"). This paper presents changes in the naming and scope of technical specifications that form the basis for conducting certification processes. It also describes the manner of marking construction products with a construction mark pursuant to the Act on Construction Products and the obligatory information to accompany the marking. The performance of the assessment and verification process is completed with a declaration of performance prepared by the manufacturer of the construction product, the draft of which is presented in this paper.

Methodology: To present the differences between the two legal documents, the authors analysed the requirements contained therein and identified the new requirements contained in the 2016 Regulation (applicable since 2017), as amended by the Regulation of 2018.

Conclusions: This article presents the similarities and differences between the national system of compliance of the conformity assessment system effective until 31 December 2016, and the system of assessment and verification of constancy of performance introduced on 1 January 2017, and the consequences for both the manufacturers and the certification bodies.

Keywords: fire protection, construction product, certification, construction mark

Type of article: review article

Received: 03.12.2018; Reviewed: 18.12.2018; Accepted: 20.12.2018;

Authors' ORCID IDs: M. Iwańska – 0000-0003-4815-7296; K. Jankowska – 0000-0001-9678-2542; A. Kowalczyk – 0000-0002-5815-2037;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 168–183, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.10>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Строительные изделия, используемые для противопожарной защиты, должны соответствовать требованиям законодательных органов по введению в оборот или выпуску на внутреннем рынке средств противопожарной защиты, помеченных знаком изделия для строительства. В статье сравнивается новое положение распоряжения по этому вопросу с ранее действовавшим правовым актом с целью показать внесенные изменения.

Введение: В начале 2017 года вступили в силу новые правила, касающиеся способа декларирования характеристик строительных изделий и способа маркировки их строительным знаком, относящимся также к продуктам, используемым в противопожарной защите. Постановлением 2018 года в положения были внесены изменения. Новый правовой акт содержит другие требования к маркетингу или распространению на внутреннем рынке строительных изделий, помеченных знаком строительства в соответствии с действующим законодательством. Изменения настолько значительны, что их необходимо проанализировать в контексте предыдущего распоряжения. Важным является то, что введенный регламент аналогичен положениям Регламента ЕС № 305/2011, касающихся строительных изделий.

Авторы обратили внимание не только на изменившиеся и новые требования к строительной продукции, но и на продукты, которые были добавлены в список продуктов, подлежащих сертификации, для маркетинга или для предоставления на внутреннем рынке и обозначения знаком товары для строительства (добавлено пять новых подгрупп в группе стационарных противопожарных устройств). Был также представлен объем оценки, проведенной в ходе введения продуктов в оборот или представления их на внутреннем рынке, а также разделение обязанностей, возлагаемых на производителей и орган по сертификации, в зависимости от отдельных национальных систем. Кроме того, были внесены изменения в отношении наименования и объема технических спецификаций, являющихся основой для проведения процессов сертификации.

Методология: Для того чтобы представить различия между двумя правовыми актами, были проанализированы содержащиеся в них требования, а также представлены новые требования, содержащиеся в постановлении 2016 года (вступившем в силу с 2017 года), с поправками, внесенными постановлением 2018 года.

Выводы: В данной статье представлены взаимосвязи и различия между системой оценки соответствия, действующей до 31 декабря 2016 года, и системой оценки и проверки стабильности функциональных свойств, введенной с 1 января 2017 года, и связанные с ними последствия.

Ключевые слова: пожарная охрана, строительное изделие, сертификация, строительный знак

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 03.12.2018; Рецензирована: 18.12.2018; Одобрена: 20.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: M. Iwańska – 0000-0003-4815-7296; K. Jankowska – 0000-0001-9678-2542; A. Kowalczyk – 0000-0002-5815-2037;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp.168–183, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.10>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wstęp

Ważnym elementem bezpieczeństwa pożarowego jest stosowanie wyrobów, systemów oraz instalacji przeciwpożarowych, które będą skuteczne oraz bezpieczne w użytkowaniu. Wyroby przeznaczone do zastosowania w obiektach budow-

Introduction

An important element of fire safety is the use of effective and safe fire protection products, systems and installations. Products intended for use in civil structures and designed for fire protection must comply with the statutory requirements for

lanych oraz służące ochronie przeciwpożarowej muszą spełniać wymagania ustawodawcy w zakresie wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów służących ochronie przeciwpożarowej znakowanych znakiem budowlanym.

Od 1 stycznia 2017 r. obowiązuje nowe rozporządzenie dotyczące deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym. Obejmuje ono także wyroby stosowane w ochronie przeciwpożarowej. Rozporządzenie wprowadziło nowe wymagania w zakresie wprowadzenia do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych znakowanych znakiem budowlanym. Dokument został zmodyfikowany w czerwcu 2018 r.

Zmiana przepisów, która nastąpiła w 2017 r. wraz z aktualizacją w czerwcu 2018 r., wymaga omówienia szczególnie w aspekcie różnic w stosunku do wcześniej obowiązującego rozporządzenia oraz nowych zasad postępowania w procesie certyfikacji. Pozwoli to producentom na opracowanie krajowej deklaracji właściwości użytkowych oraz umieszczanie znaku budowlanego na wyrobach objętych zakresem udzielonej certyfikacji.

Wyroby budowlane stosowane w ochronie przeciwpożarowej

Wyroby budowlane stosowane w ochronie przeciwpożarowej można spotkać w większości obiektów budowlanych, począwszy od czujek czy tryskaczy, a kończąc na zestawach instalacji gazowej.

Gdy mówimy o wyrobie budowlanym, mamy na myśli „wyrób lub zestaw wyprodukowany i wprowadzony do obrotu w celu trwałego wbudowania w obiekt budowlany lub jego część, którego właściwości wpływają na właściwości użytkowe obiektów budowlanych w stosunku do podstawowych wymagań dotyczących obiektów budowlanych” [3].

Istnieją trzy sposoby wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych, które nadają się do stosowania przy wykonywaniu robót budowlanych, w zakresie odpowiadającym ich właściwościom użytkowym i zamierzonemu zastosowaniu. Pierwszy z nich dotyczy przypadku, w którym wyrób budowlany jest objęty normą zharmonizowaną lub jest zgodny z europejską oceną techniczną. Drugi przypadek dotyczy sytuacji, w którym wyrób budowlany nie jest objęty normą zharmonizowaną. Ostatni przypadek dotyczy sytuacji, gdy wyrób nieobjęty zakresem przedmiotowym zharmonizowanych specyfikacji technicznych został legalnie wprowadzony do obrotu w innym państwie członkowskim Unii Europejskiej lub w państwie członkowskim Europejskiego Porozumienia o Wolnym Handlu (EFTA) (stronie umowy o Europejskim Obszarze Gospodarczym oraz w Turcji), a jego właściwości użytkowe umożliwiają spełnienie podstawowych wymagań przez obiekty budowlane zaprojektowane i budowane w sposób określony w przepisach techniczno-budowlanych oraz w zgodzie z zasadami wiedzy technicznej.

W niniejszym artykule, zgodnie z jego tytułem, omówiony zostanie drugi przypadek. W celu scharakteryzowania wyrobów

placing or making available on the domestic market of products used for fire protection marked with a construction mark.

A new regulation on declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark entered into force on 1 January 2017. It includes products used for fire protection. The regulation introduced a number of new requirements in terms of placing or making available on the domestic market of construction products marked with a construction mark. The document was modified in June 2018.

The amendment to the regulations, which was introduced in 2017, in addition to the June 2018 amendment, must be discussed with a particular emphasis on the differences in relation to the previous regulation and the new rules of procedure in the certification process. This would allow producers to prepare the national declaration of performance and place the construction mark on products covered by the scope of the granted certification.

Construction products used for fire protection

Construction products used for fire protection, from detectors and sprinklers to gas system units, are present in most civil structures.

When discussing a construction product, the authors mean “a product or unit produced and placed on the market to be permanently embedded in a civil structure or its part possessing properties affecting the performance of civil structures in terms of the basic requirements regarding civil structures” [3].

There are three procedures for the placing or making available on the domestic market of construction products, which are suitable for use during the performance of construction works within the scope corresponding to their performance and intended use. The first procedure concerns cases where the construction product is covered by a harmonised standard or is consistent with the European Technical Assessment. The second case is applicable to situations in which the construction product is not covered by a harmonised standard. The last case involves situations where the product, which is not covered by the material scope of harmonised technical specifications, has been legally placed on the market in a different European Union Member State or in a member state of the European Free Trade Association (EFTA) (a party to the EEA Agreement and Turkey), and its performance properties allow achieving compliance with the basic requirements by civil structures designed and built in a manner defined in the technical and construction regulations and in accordance with the technical principles.

This article, as specified in the title, discusses the second of the said three cases. To characterise the construction products discussed in this paper we must refer to the current legal regulations.

budowlanych, których dotyczy artykuł konieczne jest odwołać się do aktualnych przepisów prawa.

W przypadku, gdy nie istnieje norma zharmonizowana lub europejska ocena techniczna, lub gdy chociaż jeden z zasadniczych opisów wyrobu wykracza poza zakres normy zharmonizowanej lub europejskiej oceny technicznej, wyroby objęte są obowiązkiem znakowania znakiem budowlanym. Wykaz przedmiotowych wyrobów został wskazany w załączniku nr 1 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2004 Nr 198, poz. 2041 z późn. zm.). Treść tego załącznika została zmieniona w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016, poz. 1966). Wraz ze zmianą rozporządzenia w 2018 r. zaktualizowano również wykaz wyrobów podlegających krajowej ocenie i weryfikacji stałości właściwości użytkowych.

Poniższe zestawienie prezentuje grupę wyrobów budowlanych stosowanych w ochronie przeciwpożarowej, podlegającą obowiązkowi deklarowania właściwości użytkowych oraz znakowania znakiem budowlanym (według ww. rozporządzeń). Wskazano w nim także wyroby, które wcześniej podlegały obowiązkowi deklarowania zgodności i znakowania ich znakiem budowlanym.

Tabela przedstawia porównanie wprowadzonych zmian w 2017 r., w których dodano cztery nowe podgrupy wyrobów oraz kilkadziesiąt nowych wyrobów. Zmiana z 2018 r. obejmowała przede wszystkim poprawki mające na celu usystematyzowanie nazw wyrobów. Pojawiła się również nowa podgrupa wyrobów tj. Systemy integrujące urządzenia przeciwpożarowe – zestawy: systemy do wizualizacji i/lub sterowania.

Where there is no harmonised standard or European Technical Assessment or where at least one of the basic descriptions of the product falls beyond the scope of the harmonised standard or European Technical Assessment, the products must be marked with construction markings. A list of the said products was provided in Appendix No. 1 to the Regulation of the Minister of Infrastructure of 11 August 2004 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2004, No. 198, item 2041, as amended). The said Appendix was amended by the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966). Once the Regulation was amended in 2018, the list of products subject to national assessment and verification of constancy of performance was also amended.

The following list presents the group of construction products used for fire protection subject to the obligation to issue declarations of performance and use the construction mark (according to the said Regulations). It also indicates the products previously subject to the obligation to issue declarations of performance and use the construction mark.

The table presents a comparison of the changes introduced in 2017, which added four new product subgroups and several dozen new products. The 2018 amendment primarily covered the amendments aimed at systematising product names. A new product subgroup, i.e. fire protection device integration systems – kits: visualisation and/or control systems, was introduced.

Tabela 1. Wyroby służące ochronie przeciwpożarowej

Table 1. Fire protection products

I	II	III
Załącznik nr 1 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. 2004 nr 198 poz. 2041 z późn.zm.) Appendix No. 1 to the Regulation of the Minister of Infrastructure of 11 August 2004 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2004, No. 198, item 2041, as amended).	Załącznik nr 1 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016 poz. 1966) Appendix No. 1 to the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966)	Załącznik do rozporządzenia Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 13 czerwca 2018 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. 2018 poz. 1233) Appendix to the Regulation of the Minister of Investment and Economic Development of 13 June 2018 amending the Regulation on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2018, item 1233)
96/577/WE Decyzja Komisji z dnia 24 czerwca 1996 r. w sprawie procedury atestowania zgodności wyrobów budowlanych zgodnie z art. 120 ust. 2 dyrektywy 89/106/EWG dotyczącej stali i urządzeń gaśniczych 96/577/EEC: Commission Decision of 24 June 1996 on the procedure for attesting the conformity of construction products pursuant to Article 20 (2) of Council Directive 89/106/EEC as regards fixed fire-fighting systems	Grupa 10: Stale urządzenia przeciwpożarowe (wyroby do wykrywania i sygnalizacji pożaru, wyroby do kontroli rozprzestrzeniania ciepła i dymu oraz tłumienia wybuchu, systemy ewakuacyjne) Group 10: Fixed fire-fighting systems (fire detection and fire alarm systems, smoke and heat control and explosion suppression products and evacuation systems)	Grupa 10: Stale urządzenia przeciwpożarowe (wyroby do wykrywania i sygnalizacji pożaru, wyroby do kontroli rozprzestrzeniania ciepła i dymu oraz tłumienia wybuchu, systemy ewakuacyjne) Group 10: Fixed fire-fighting systems (fire detection and fire alarm systems, smoke and heat control and explosion suppression products and evacuation systems)
Systemy sygnalizacji pożarowej – zestawy: zestawy sygnalizacyjno-alarmowe, zestawy sygnalizacji pożarowej, systemy alarmowe, systemy ostrzegania i ewakuacji Fire alarm systems – kits: Fire signalling and alarm kits, fire alarm kits, alarm systems, warning and evacuation systems	Systemy sygnalizacji pożarowej – zestawy: zestawy sygnalizacyjno-alarmowe, zestawy sygnalizacji pożarowej, systemy alarmowe, systemy transmisji alarmów pożarowych Fire alarm systems – kits: Fire signalling and fire alarm kits, fire alarm kits, alarm systems, fire alarm transmission systems	Systemy sygnalizacji pożarowej – zestawy: zestawy sygnalizacyjno-alarmowe, zestawy sygnalizacji pożarowej, systemy alarmowe, systemy transmisji alarmów pożarowych Fire alarm systems – kits: Fire signalling and fire alarm kits, fire alarm kits, alarm systems, fire alarm transmission systems
Systemy sygnalizacji pożarowej – elementy składowe: czujki pożarowe, urządzenia sterujące i sygnalizujące, urządzenia transmisyjne alarmów, izolatory zwarcia, urządzenia alarmowe, źródła zasilania, urządzenia wejścia/wyjścia, ręczne ostrzegacze pożarowe, dzwoniące systemy ostrzegawcze, autonomiczne czujki pożarowe, źródła zasilania Fire alarm systems – components: fire detectors, control and alarm devices, fire alarm transmission systems, short-circuit isolators, alarm systems, power supplies, input/output devices, manual call points, voice alarm systems, autonomous fire detectors, power supplies	Systemy sygnalizacji pożarowej – elementy składowe: czujki pożarowe, urządzenia sterujące i sygnalizujące, urządzenia transmisyjne alarmów, izolatory zwarcia, urządzenia alarmowe, źródła zasilania, urządzenia wejścia/wyjścia, ręczne ostrzegacze pożarowe, panele obsługi dla strażaków, urządzenia zdalnej sygnalizacji i obsługi, gniazda montażowe elementów liniowych, wskaźniki zadziałania, autonomiczne czujki pożarowe, autonomiczne czujki tlenu węgla, źródła zasilania Fire alarm systems – components: fire detectors, control and alarm devices, fire alarm transmission systems, short-circuit isolators, alarm systems, power supplies, input/output devices, manual call points, control panels for fire services, remote signalling and control equipment, linear element mounting sockets, status indicators, autonomous fire detectors, autonomous carbon monoxide detectors, power supplies	Systemy sygnalizacji pożarowej – elementy składowe: czujki pożarowe, urządzenia sterujące i sygnalizujące, urządzenia transmisyjne alarmów, izolatory zwarcia, urządzenia alarmowe, źródła zasilania, urządzenia wejścia/wyjścia, ręczne ostrzegacze pożarowe, panele obsługi dla strażaków, urządzenia zdalnej sygnalizacji i obsługi, gniazda montażowe elementów liniowych, wskaźniki zadziałania, autonomiczne czujki pożarowe, autonomiczne czujki tlenu węgla, źródła zasilania Fire detection systems – components: fire detectors, control and alarm devices, fire alarm transmission systems, short-circuit isolators, alarm systems, power supplies, input/output devices, manual call points, control panels for fire services, remote signalling and control equipment, linear element mounting sockets, status indicators, autonomous fire detectors, autonomous carbon monoxide detectors, power supplies
Systemy tłumienia i gaszenia pożaru – zestawy: hydranty wewnętrzne, instalacje hydrantowe suche i nawodnione, zestawy instalacji tryskaczowych, zraszaczy i mgły wodnej, zestawy gaśnicze pianowe, zestawy gaśnicze proszkowe, zestawy gaśnicze gazowe (w tym systemy gaśnicze z CO₂) Fire suppression and extinguishing systems – kits: Dry and wet fire-fighting hydrant systems, sprinkler and water spray systems, foam extinguishing systems, dry powder extinguishing systems, gaseous extinguishing systems (including CO₂ extinguishing systems).	Systemy tłumienia i gaszenia pożaru – zestawy: hydranty wewnętrzne, instalacje hydrantowe suche i nawodnione, zestawy instalacji tryskaczowych, zraszaczy i mgły wodnej, zestawy gaśnicze pianowe, zestawy gaśnicze proszkowe, zestawy gaśnicze gazowe (w tym systemy gaśnicze z CO₂), zestawy gaśnicze aerolowe, zestawy do gaszenia iskieł, zestawy do redukcji stężenia tlenu Fire suppression and extinguishing systems – kits: Internal hydrants, dry and wet fire-fighting hydrant systems, sprinkler and water spray systems, foam extinguishing systems, dry powder extinguishing systems, gaseous extinguishing systems (including CO₂ extinguishing systems), aerosol-based extinguishing kits, spark extinguishing kits, oxygen concentration reduction kits	Systemy tłumienia i gaszenia pożaru – zestawy: hydranty wewnętrzne, instalacje hydrantowe suche i nawodnione, zestawy instalacji tryskaczowych, zraszaczy i mgły wodnej, zestawy gaśnicze pianowe, zestawy gaśnicze proszkowe, zestawy gaśnicze gazowe (w tym systemy gaśnicze z CO₂), zestawy gaśnicze aerolowe, zestawy do gaszenia iskieł, zestawy do redukcji stężenia tlenu Fire suppression and extinguishing systems – kits: Internal hydrants, dry and wet fire-fighting hydrant systems, sprinkler and water spray systems, foam extinguishing systems, dry powder extinguishing systems, gaseous extinguishing systems (including CO₂ extinguishing systems), aerosol-based extinguishing kits, spark extinguishing kits, oxygen concentration reduction kits

Systemy tłumienia i gaszenia pożaru – elementy składowe: Hydranty zewnętrzne, czujniki/przełączniki przepływu wody, czujniki/przełączniki ciśnienia, zawory pożarowe, przylączy dla straży pożarnej, pompy pożarowe i zespoły pomp pożarowych, dysze/tryskacze/ zraszacze/elementy wylotowe, zespoły zaworów kontrolno-alarmowych wodnych, zespoły zaworów kontrolno-alarmowych powietrznych, zespoły zaworów wzbudzących, pobudzacze, zespoły zaworów zbiorników ciśnieniowych i ich urządzenia wyzwalające, zawory kierunkowe i ich urządzenia wyzwalające, nieelektryczne urządzenia blokujące, łączniki elastyczne, ciśnieniomierze i łączniki ciśnienia, mechaniczne urządzenia wagowe, zawory zwrotne i jednokierunkowe, urządzenia sterujące i sygnalizujące, źródła zasilania, dozowniki środka pianotwórczego, prądownice pianowe, pompy do instalacji wodociągowych przeciwpożarowych, elementy złączne, kształtki, armatura regulacyjna i odcinająca, systemy rurowe, uchwyty i zestawy mocowania przewodów rurowych, zbiorniki środków gaśniczych, panele obsługi dla straży pożarnej	Systemy tłumienia i gaszenia pożaru – elementy składowe: hydranty zewnętrzne, czujniki/przełączniki przepływu wody, czujniki/przełączniki ciśnienia, zawory pożarowe, przylączy dla straży pożarnej, pompy pożarowe i zespoły pomp pożarowych, dysze/tryskacze/ zraszacze/elementy wylotowe, zespoły zaworów kontrolno-alarmowych wodnych, zespoły zaworów kontrolno-alarmowych powietrznych, zespoły zaworów wzbudzących, pobudzacze, zespoły zaworów zbiorników ciśnieniowych i ich urządzenia wyzwalające, zawory kierunkowe i ich urządzenia wyzwalające, nieelektryczne urządzenia blokujące, łączniki elastyczne, ciśnieniomierze i łączniki ciśnienia, mechaniczne urządzenia wagowe, zawory zwrotne i jednokierunkowe, urządzenia sterujące i sygnalizujące, źródła zasilania, dozowniki środka pianotwórczego, prądownice pianowe, pompy do instalacji wodociągowych przeciwpożarowych, elementy złączne, kształtki, armatura regulacyjna i odcinająca, systemy rurowe z tworzyw sztucznych, zawory i zasady wlotowe, uchwyty i zestawy mocowania przewodów rurowych, zawory ograniczania i regulacji ciśnienia, zbiorniki środków gaśniczych, kolektory wlotowe i rozdzielcze, filtry, panele obsługi dla straży pożarnej	Systemy tłumienia i gaszenia pożaru – elementy składowe: hydranty zewnętrzne, czujniki/przełączniki przepływu wody, czujniki/przełączniki ciśnienia, zawory pożarowe, przylączy dla straży pożarnej, pompy pożarowe i zespoły pomp pożarowych, dysze/tryskacze/ zraszacze/elementy wylotowe, zespoły zaworów kontrolno-alarmowych wodnych, zespoły zaworów kontrolno-alarmowych powietrznych, zespoły zaworów wzbudzących, pobudzacze, zespoły zaworów zbiorników ciśnieniowych i ich urządzenia wyzwalające, zawory kierunkowe i ich urządzenia wyzwalające, nieelektryczne urządzenia blokujące, łączniki elastyczne, ciśnieniomierze i łączniki ciśnienia, mechaniczne urządzenia wagowe, zawory zwrotne i jednokierunkowe, urządzenia sterujące i sygnalizujące, źródła zasilania, dozowniki środka pianotwórczego, prądownice pianowe, pompy do instalacji wodociągowych przeciwpożarowych, elementy złączne, kształtki, armatura regulacyjna i odcinająca, systemy rurowe z tworzyw sztucznych, zawory i zasady wlotowe, uchwyty i zestawy mocowania przewodów rurowych, zawory ograniczania i regulacji ciśnienia, zbiorniki środków gaśniczych, kolektory wlotowe i rozdzielcze, filtry, panele obsługi dla straży pożarnej
Fire suppression and extinguishing systems – components: external hydrants, water flow detectors/switches, pressure detectors/switches, hydrant landing valves, hydrant manifolds, fire-fighting pumps and pump kits, nozzles/sprinklers/water spray systems/outlet components, wet alarm valve assemblies, dry alarm valve assemblies, deluge valve assemblies, trigger mechanisms, selector valves and their actuators, selector valves and their actuators, non-electrical disable devices, flexible connectors, pressure gauges and pressure switches, mechanical weighing devices, check valves and non-return valves, control and alarm devices, power supplies, foaming agent dispensers, foam nozzles, fire water supply system pumps, flexible hose connectors, grooved connectors for pipes, grooved fittings for pipes, plastic pipe systems, inlet valves and gate valves, pipeline mounting handles and kits, pressure limit and regulation valves, fire extinguishing agent containers, inlet and switching manifolds, filters, control panels for fire services	Fire suppression and extinguishing systems – components: external hydrants, water flow detectors/switches, pressure detectors/switches, hydrant landing valves, hydrant manifolds, fire-fighting pumps and pump kits, nozzles/sprinklers/water spray systems/outlet components, wet alarm valve assemblies, dry alarm valve assemblies, deluge valve assemblies, trigger mechanisms, selector valves and their actuators, selector valves and their actuators, non-electrical disable devices, flexible connectors, pressure gauges and pressure switches, mechanical weighing devices, check valves and non-return valves, control and alarm devices, power supplies, foaming agent dispensers, foam nozzles, fire water supply system pumps, flexible hose connectors, grooved connectors for pipes, grooved fittings for pipes, plastic pipe systems, inlet valves and gate valves, pipeline mounting handles and kits, pressure limit and regulation valves, fire extinguishing agent containers, inlet and switching manifolds, filters, control panels for fire services	Fire suppression and extinguishing systems – components: external hydrants, water flow detectors/switches, pressure detectors/switches, hydrant landing valves, hydrant manifolds, fire-fighting pumps and pump kits, nozzles/sprinklers/water spray systems/outlet components, wet alarm valve assemblies, dry alarm valve assemblies, deluge valve assemblies, trigger mechanisms, selector valves and their actuators, selector valves and their actuators, non-electrical disable devices, flexible connectors, pressure gauges and pressure switches, mechanical weighing devices, check valves and non-return valves, control and alarm devices, power supplies, foaming agent dispensers, foam nozzles, fire water supply system pumps, flexible hose connectors, grooved connectors for pipes, grooved fittings for pipes, plastic pipe systems, inlet valves and gate valves, pipeline mounting handles and kits, pressure limit and regulation valves, fire extinguishing agent containers, inlet and switching manifolds, filters, control panels for fire services
Systemy zabezpieczenia przed wybuchem – zestawy Explosion protection systems – kits	Systemy zabezpieczenia przed wybuchem – zestawy Explosion protection systems – kits	Systemy zabezpieczenia przed wybuchem – zestawy Explosion protection systems – kits
Systemy zabezpieczenia przed wybuchem – elementy składowe: czujniki, tłumiki, czujniki wybuchu, wyroby odcinające, urządzenia sterujące i sygnalizujące, źródła zasilania, panele obsługi dla straży pożarnej	Systemy zabezpieczenia przed wybuchem – elementy składowe: czujniki, urządzenia tłumiące, czujniki wybuchu, wyroby odcinające, urządzenia sterujące i sygnalizujące, źródła zasilania, panele obsługi dla straży pożarnej	Systemy zabezpieczenia przed wybuchem – elementy składowe: czujniki, urządzenia tłumiące, czujniki wybuchu, wyroby odcinające, urządzenia sterujące i sygnalizujące, źródła zasilania, panele obsługi dla straży pożarnej
Explosion protection systems – components detectors, suppressors, explosion sensors, explosion relief products	Explosion protection systems – components detectors, suppressing devices, explosion sensors, relief products, control and alarm devices, power supplies, control panels for fire services	Explosion protection systems – components: detectors, suppressing devices, explosion sensors, relief products, control and alarm devices, power supplies, control panels for fire services
Instalacje kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła – zestawy. Zestawy do odprowadzania dymu i ciepła, zestawy do różnicowania ciśnienia,	Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła – zestawy. Zestawy do odprowadzania dymu i ciepła, zestawy do różnicowania ciśnienia, zestawy do sterowania odcieczami przeciwpożarowymi	Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła – zestawy. Zestawy do odprowadzania dymu i ciepła, zestawy do różnicowania ciśnienia, zestawy do sterowania odcieczami przeciwpożarowymi
Smoke and heat control installations – kits: Smoke and heat exhaust ventilation systems-kits, pressure differential system-kits	Smoke and heat control systems – kits: Smoke and heat exhaust ventilation systems-kits, pressure differential systems-kits, fire protection cut-off control systems-kits	Smoke and heat control systems – kits: Smoke and heat exhaust ventilation systems-kits, fire protection cut-off control systems-kits
Instalacje kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła – elementy składowe: kurtyny dymowe, klapy przeciwpożarowe, przewody, wentylatory mechaniczne, klapy dymowe, klapy odcinające, sterownice urządzeń sterujące, panele obsługi dla straży pożarnej, ręczne przyciski oddymiania, źródła zasilania	Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła – elementy składowe: kurtyny dymowe, klapy przeciwpożarowe, przewody, wentylatory mechaniczne, klapy dymowe, klapy odcinające, sterownice urządzeń sterujące, panele obsługi dla straży pożarnej, ręczne przyciski oddymiania, źródła zasilania, siłowniki liniowe, przepustnice do napływu powietrza kompensacyjnego, czujniki ciśnienia	Systemy kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła – elementy składowe: kurtyny dymowe, klapy przeciwpożarowe, przewody, wentylatory mechaniczne, klapy dymowe, klapy odcinające, sterownice urządzeń sterujące, panele obsługi dla straży pożarnej, ręczne przyciski oddymiania, źródła zasilania, siłowniki liniowe, przepustnice do napływu powietrza kompensacyjnego, czujniki ciśnienia

I	II	III
Załącznik nr 1 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. 2004 nr 198 poz. 2041 z późn.zm.) Appendix No. 1 to the Regulation of the Minister of Infrastructure Construction of 11 August 2004 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2004, No. 198, item 2041, as amended).	Załącznik nr 1 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016 poz. 1966) Appendix No. 1 to the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966)	Załącznik do rozporządzenia Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 13 czerwca 2018 r. zmieniającego rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. 2018 poz. 1233) Appendix to the Regulation of the Minister of Investment and Economic Development of 13 June 2018 amending the Regulation on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2018, item 1233)
Smoke and heat control installations – components: smoke curtains, dampers, ducts, powered ventilators, smoke control dampers, control panels for fire services, manual smoke removal controls, power supplies	Smoke and heat control systems – components: smoke curtains, dampers, ducts, powered ventilators, smoke control dampers, relief dampers, control devices, control panels for fire services, manual smoke removal controls, power supplies, linear actuators, rotary actuators, throttle valves for compensation air, pressure sensors	Smoke and heat control installations – components: smoke curtains, dampers, ducts, powered ventilators, smoke control dampers, relief dampers (outlet), control and alarm devices, control panels for fire services, manual smoke removal controls, power supplies, linear actuators, rotary actuators, throttle valves for compensation air, pressure sensors
–	Systemy ewakuacyjne – zestawy: systemy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego, systemy zarządzania otwarciem wyjść na drogach ewakuacyjnych, zestawy do ewakuacji	Systemy ewakuacyjne – zestawy: systemy awaryjnego oświetlenia ewakuacyjnego, systemy zarządzania otwarciem wyjść na drogach ewakuacyjnych, zestawy do ewakuacji
–	Evacuation systems – kits: emergency escape lighting systems, emergency exit door management systems, evacuation kits	Evacuation systems – kits: emergency escape lighting systems, emergency exit door management systems, evacuation kits
–	Systemy ewakuacyjne – elementy składowe: urządzenia sterujące i sygnalizujące, źródła zasilania, urządzenia wykonawcze, interfejsy przejść kontrolowanych, oprawy oświetleniowe do oświetlenia awaryjnego, panele obsługi dla straży pożarnej, rękawy ratownicze	Systemy ewakuacyjne – elementy składowe: urządzenia sterujące i sygnalizujące, źródła zasilania, urządzenia wykonawcze, interfejsy przejść kontrolowanych, oprawy oświetleniowe do dynamicznego oświetlenia ewakuacyjnego, panele obsługi dla straży pożarnej, rękawy ratownicze
–	Evacuation systems – components: control and alarm devices, power supplies, automation devices, supervised passage interfaces, light fittings for emergency lighting, control panels for fire services, emergency chutes	Evacuation systems – components: control and alarm devices, power supplies, automation devices, supervised passage interfaces, light fittings for emergency lighting, control panels for fire services, emergency chutes
–	–	Systemy integrujące urządzenia przeciwpożarowe – zestawy: systemy do wizualizacji i/lub sterowania
–	–	Fire protection device integration systems – kits: visualisation and/or control systems
–	Przeciwpożarowe wyłączniki prądu – zestawy	Przeciwpożarowe wyłączniki prądu – zestawy
–	Fire protection power switches – kits	Fire protection power switches – kits
–	Przeciwpożarowe wyłączniki prądu – elementy składowe: urządzenia uruchamiające, urządzenia sygnalizujące, urządzenia wykonawcze	Przeciwpożarowe wyłączniki prądu – elementy składowe: urządzenia uruchamiające, urządzenia sygnalizujące, urządzenia wykonawcze
–	Fire protection power switches – components: actuators, alarm devices, automation devices	Fire protection power switches – components: actuators, alarm devices, automation devices

Uwagi: Kolorem **niebieskim** i **czarnym** i **czarnym** i **czarnym** oznaczono zmiany wprowadzone w załączniku nr 1 w rozporządzeniach podanych w kolumnach I i II
Kolorem **niebieskim** i **czarnym** oznaczono zmiany wprowadzone w załączniku nr 1 w rozporządzeniach podanych w kolumnach II i III

Comments: **Purple, red and orange text** indicates changes introduced in Appendix No. 1 in the Regulations specified in columns I and II
Orange and green text indicates changes introduced in Appendix No. 1 in the Regulations specified in columns II and III

Źródło: Opracowanie własne na podstawie rozporządzenia [1], [2], [3]

Source: Own elaboration based on Regulations [1], [2], [3]

Zmiany w zakresie oceny

Przepisy obowiązujące do 31 grudnia 2016 r.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym wyróżnia 6 systemów oceny zgodności, dla których zostały określone działania, jakie spoczywają na producencie oraz akredytowanej jednostce. Przedstawia je tabela 2.

Changes with respect to the assessment

Regulations in force until 31 December 2016

The Regulation of the Minister of Infrastructure of 11 August 2004 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark distinguishes between 6 conformity assessment systems, for which actions required from the manufacturer and accredited bodies were specified. These are presented in Table 2.

Tabela 2. Zadania producenta i akredytowanej jednostki w odniesieniu do zastosowanego systemu zgodności

Table 2. The tasks of the manufacturer and accredited body with reference to the applicable conformity assessment system

System oceny zgodności / Conformity assessment systems	Zadania producenta / Manufacturer's tasks	Zadania akredytowanej jednostki / Accredited body's tasks	Rodzaj wydawanego dokumentu / Type of document issued
1+	- zakładowa kontrola produkcji / factory production control - uzupełniające badania próbek pobranych w zakładzie produkcyjnym, prowadzone zgodnie z planem badań / supplementary tests on samples collected at the manufacturing facility conducted in accordance with the test schedule	- wstępne badanie typu / initial type-testing, - wstępna inspekcja zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji / initial inspection of the manufacturing facility and factory production control - ciągły nadzór, ocena i akceptacja zakładowej kontroli produkcji / constant supervision, assessment and acceptance of factory production control - badania sondażowych próbek pobranych w zakładzie produkcyjnym, na rynku lub planu budowy / tests of samples collected at the manufacturing facility, on the market or development plan	Krajowy certyfikat zgodności / The National Certificate of Constancy of Performance Oznakowanie – znak budowlany / Marking – construction mark 
1	- zakładowa kontrola produkcji / factory production control - uzupełniające badania próbek pobranych w zakładzie produkcyjnym, prowadzone zgodnie z planem badań / supplementary tests on samples collected at the manufacturing facility conducted in accordance with the test schedule	- wstępne badanie typu / initial type-testing, - wstępna inspekcja zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji / initial inspection of the manufacturing facility and factory production control - ciągły nadzór, ocena i akceptacja zakładowej kontroli produkcji / constant supervision, assessment and acceptance of factory production control	
2+	- wstępne badania typu / initial type-testing, - zakładowa kontrola produkcji / factory production control - badania próbek pobranych w zakładzie produkcyjnym, prowadzone zgodnie z planem badań / tests of samples collected at the manufacturing facility, conducted in accordance with the test schedule	- wstępna inspekcja zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji / initial inspection of the manufacturing facility and factory production control - ciągły nadzór, ocena i akceptacja zakładowej kontroli produkcji / constant supervision, assessment and acceptance of factory production control	Krajowy Certyfikat Zakładowej Kontroli Produkcji / National Factory Production Control Certificate Oznakowanie – znak budowlany / Marking – construction mark 
2	- wstępne badania typu / initial type-testing, - zakładowa kontrola produkcji / factory production control	wstępna inspekcja zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji / initial inspection of the manufacturing facility and factory production control	
3	- wstępne badania typu prowadzone przez akredytowane laboratorium / initial type-testing conducted by an accredited laboratory - zakładowa kontrola produkcji / factory production control	–	Oznakowanie – znak budowlany / Marking – construction mark 
4	- wstępne badania typu prowadzone przez producenta / initial type-testing conducted by the manufacturer - zakładowa kontrola produkcji / factory production control	–	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie rozporządzenia.

Source: Own elaboration; based on the Regulation.

Przyporządkowanie systemów do konkretnych wyrobów lub grup wyrobów zostało przedstawione w załączniku nr 1 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym. Dla

The assignment of systems to specific products or product groups is presented in Appendix No. 1 to the Regulation of the Minister of Infrastructure of 11 August 2004 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark. For

wyrobów budowlanych służących ochronie przeciwpożarowej, dla których wyszczególniono grupę „stałych urządzeń gaśniczych” podporządkowanych lp. 4 objętych decyzją 96/577/WE, rozporządzenie wskazuje system 1 oceny zgodności.

Przepisy obowiązujące od 1 stycznia 2017 r.

W przypadku nowego rozporządzenia wraz ze zmianami z czerwca 2018 r., wyróżniamy już tylko 5 systemów, tym razem nazwanych systemami oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych. Rozporządzenie wprowadziło zasadniczą zmianę w podejściu do oceny właściwości użytkowych wyrobów budowlanych. Zadania, jakie zostały postawione producentom, jak i jednostce certyfikującej, różnią się od tych wskazanych w systemach oceny zgodności. Poniżej zaprezentowano zestawienie przedmiotowych zadań.

construction products designed for fire protection, for which the group “Fixed fire-fighting systems” was distinguished under No. 4 covered by Decision 96/577/EC, the Regulation indicates System 1 for conformity assessment.

Regulations in force since 1 January 2017

As for the new Regulation, following the changes from June 2018, there are only 5 systems, which are now called performance assessment and verification systems. The Regulation introduced a fundamental change in the approach to construction product performance assessment. The tasks entrusted to the manufacturers and the certifying body differ from those indicated in conformity assessment systems. A list of the said tasks is presented below.

Table 3. Zadania producenta i jednostki certyfikującej w odniesieniu do zastosowanego systemu (oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych (OiW SWU))

Table 3. The tasks of the manufacturer and certifying body with regard to the system used (for the assessment and verification of the constancy of performance)

System oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych / The system for the assessment and verification of the constancy of performance	Zadania producenta / Manufacturer's tasks	Zadania jednostki certyfikującej / Certifying body's tasks	Rodzaj wydawanego dokumentu / Type of document issued
1+	– określenie typu wyrobu budowlanego / specification of construction product type – zakładowa kontrola produkcji / factory production control – badania próbek pobranych przez producenta w zakładzie produkcyjnym zgodnie z ustalonym przez niego planem badań / tests on samples collected by the manufacturer at the manufacturing facility in accordance with the manufacturer's test schedule	– ocena właściwości użytkowych wyrobu budowlanego na podstawie badań próbek pobranych przez jednostkę certyfikującą, obliczeń, tabelarycznych wartości lub opisowej dokumentacji tego wyrobu / the performance assessment of a construction product on the basis of tests on samples collected by the certifying body, calculations, table values or descriptive documentation of the product – wstępna inspekcja zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji / initial inspection of the manufacturing facility and factory production control – wydanie krajowego certyfikatu stałości właściwości użytkowych / the issue of a National Certificate of Constancy of Performance, – kontynuacja nadzoru, oceny i ewaluacji zakładowej kontroli produkcji / continued supervision, assessment and evaluation of factory production control – badania kontrolne próbek pobranych przez jednostkę certyfikującą w zakładzie produkcyjnym lub obiektach magazynowych producenta / screening of samples collected by the certifying body at the manufacturing facility or in the manufacturer's warehouses	Krajowy Certyfikat Stałości Właściwości Użytkowych / The National Certificate of Constancy of Performance Oznakowanie – znak budowlany / Marking - construction mark
1	– określenie typu wyrobu budowlanego / specification of construction product type – zakładowa kontrola produkcji / factory production control – badania próbek pobranych przez producenta w zakładzie produkcyjnym zgodnie z ustalonym przez niego planem badań / tests on samples collected by the manufacturer at the manufacturing facility in accordance with the manufacturer's test schedule	– ocena właściwości użytkowych wyrobu budowlanego na podstawie badań próbek pobranych przez jednostkę certyfikującą, obliczeń, tabelarycznych wartości lub opisowej dokumentacji tego wyrobu / the performance assessment of a construction product on the basis of tests on samples collected by the certifying body, calculations, table values or descriptive documentation of the product – wstępna inspekcja zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji / initial inspection of the manufacturing facility and factory production control – wydanie krajowego certyfikatu stałości właściwości użytkowych / the issue of a National Certificate of Constancy of Performance, – kontynuacja nadzoru, oceny i ewaluacji zakładowej kontroli produkcji / continued supervision, assessment and evaluation of factory production control	

System oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych / The system for the assessment and verification of the constancy of performance	Zadania producenta / Manufacturer's tasks	Zadania jednostki certyfikującej / Certifying body's tasks	Rodzaj wydawanego dokumentu / Type of document issued
2+	– określenie typu wyrobu budowlanego / specification of construction product type – ocena właściwości użytkowych wyrobu na podstawie badań próbek pobranych przez producenta, obliczeń, tabelarycznych wartości lub opisowej dokumentacji wyrobu / the performance assessment of a product on the basis of tests on samples collected by the manufacturer, calculations, table values or descriptive documentation of the product – zakładowa kontrola produkcji / factory production control – badania próbek pobranych przez producenta w zakładzie produkcyjnym zgodnie z ustalonym przez niego planem badań / tests on samples collected by the manufacturer at the manufacturing facility in accordance with the manufacturer's test schedule	– wstępna inspekcja zakładu produkcyjnego i zakładowej kontroli produkcji / initial inspection of the manufacturing facility and factory production control – wydanie krajowego certyfikatu zgodności zakładowej kontroli / issuance of the National Certificate of Conformity of Factory Production Control – kontynuacja nadzoru, oceny i ewaluacji zakładowej kontroli produkcji / continued supervision, assessment and evaluation of factory production control	Krajowy Certyfikat Zgodności Zakładowej Kontroli Produkcji / National Certificate of Conformity of Factory Production Control Oznakowanie – znak budowlany / Marking – construction mark 
3	– określenie typu wyrobu budowlanego / specification of construction product type – zakładowa kontrola produkcji / factory production control – ocena i weryfikacja dokonywane przez laboratorium badawcze, obejmujące ocenę właściwości użytkowych wyrobu budowlanego na podstawie badań próbek pobranych przez producenta, obliczeń, tabelarycznych wartości lub opisowej dokumentacji / assessment and verification conducted by a research laboratory covering the assessment of performance of the construction product on the basis of tests of samples collected by the manufacturer, calculations, table values or descriptive documentation	–	Oznakowanie – znak budowlany / Marking – construction mark 
4	– określenie typu wyrobu budowlanego / specification of construction product type – ocena właściwości użytkowych wyrobu budowlanego na podstawie badań, obliczeń, tabelarycznych wartości lub opisowej dokumentacji / the performance assessment of a construction product on the basis of tests, calculations, table values or descriptive documentation – zakładowa kontrola produkcji F / factory production control F	–	

Źródło: Opracowanie własne na podstawie rozporządzenia.

Source: Own elaboration based on the Regulation.

Wskazanie krajowego systemu OiW SWU dla poszczególnych grup wyrobów prezentuje załącznik 1 do rozporządzenia. W przypadku wyrobów budowlanych służących ochronie przeciwpożarowej wyszczególniono grupę 10 „stałe urządzenia przeciwpożarowe (wyroby do wykrywania i sygnalizacji pożaru, wyroby do kontroli rozprzestrzeniania ciepła i dymu oraz tłumienia wybuchu, systemy ewakuacyjne)”, dla której wskazano krajowy system 1 OiW SWU.

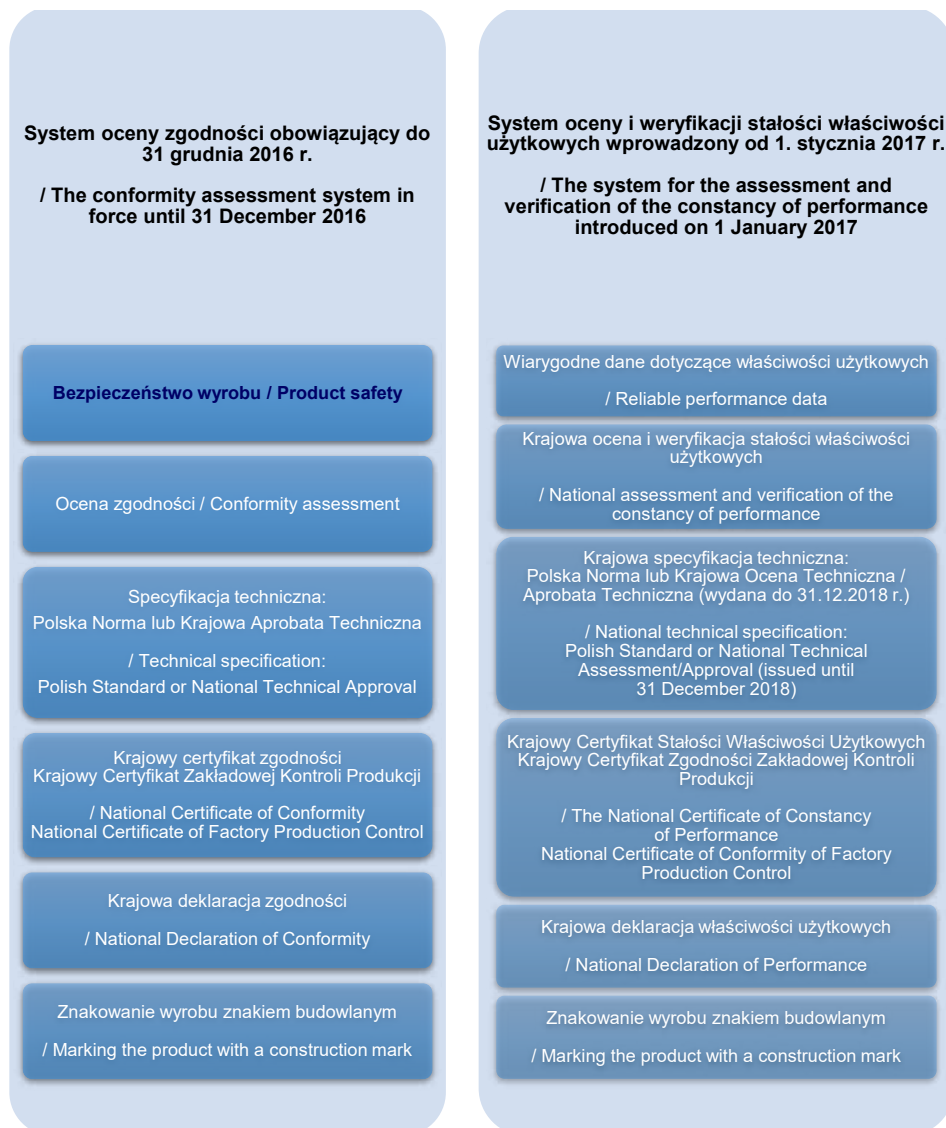
Podstawowe różnice

Podstawowe różnice dotyczą istoty przeprowadzania procesów oceny zgodności i oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych. Poniższe zestawienie pokazuje zdefiniowane przez ustawy i rozporządzenie etapy, jakie musiał przejść wyrób budowlany wymieniony w tabeli 4.

Appendix 1 to the Regulation indicates the national system for the assessment and verification of the constancy of performance for specific groups of products. For construction products designed for fire protection, group 10 was defined: “Fixed fire-fighting systems (fire detection and fire alarm systems, smoke and heat control and explosion suppression products and evacuation systems),” for which national system 1 for the assessment and verification of the constancy of performance was assigned.

Key differences

The key differences involve the essence of conducting the processes of conformity assessment and the assessment and verification of the constancy of performance. The list below presents the stages defined by Acts and the Regulation, which must be followed by a construction product indicated in Table 4.



Rycina 1. System oceny zgodności wyrobów budowlanych przed rokiem 2017 i po nim

Figure 1. The conformity assessment systems for construction products before and after 2017

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Jak można zauważyć, w poprzednim systemie ocenie podlegała zgodność wyrobu z przedstawioną dokumentacją. To ona definiowała bezpieczeństwo wyrobu. Po zmianach mających początek w styczniu 2017 r. oceniana i weryfikowana jest stałość właściwości użytkowych wyrobów, pozwalająca na potwierdzenie, czy producent podaje wiarygodne dane dotyczące właściwości użytkowych wyrobu.

(Krajowa) specyfikacja techniczna

Określenie „specyfikacja techniczna” zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. (Dz.U. 2004 Nr 198, poz. 2041 z późn.zm.) dotyczy krajowej aprobaty technicznej bądź polskiej normy wyrobu, która nie ma statusu normy wycofanej. Aprobaty techniczne były wydawane przez jednostki aprobowe, które po uzyskaniu kompletu sprawozdań z badań oraz innych wymaganych dokumentów, dokonywały

As can be seen, the previous system assessed the conformity of the product with the submitted documentation. It was the documentation that defined product safety. Since the changes which began in January 2017, the aspect that is assessed and verified has been the constancy of performance of products, which allows confirming whether the manufacturer provides reliable data concerning the product's performance.

(National) technical specification

The expression “technical specification” pursuant to the Regulation of the Minister of Infrastructure of 11 August 2011 (Journal of Laws of 2004, No. 198, item 2041, as amended) concerns the National Technical Approval or the Polish product standard, which does not have the status of a withdrawn standard. Technical approvals were issued by approval bodies, which, having obtained the complete set of test reports and

oceny przydatności wyrobu budowlanego do stosowania w budownictwie. Okres ważności aprobat technicznych wynosił 5 lat.

Wydawane przez Jednostkę Certyfikującą dokumenty certyfikacyjne miały określony okres ważności uzależniony od specyfikacji technicznej. W przypadku, gdy dokumentem odniesienia była polska norma, certyfikaty zgodności były wydawane na 5 lat. Natomiast, gdy specyfikacją techniczną była aprobata techniczna, okres ważności był wyznaczany na podstawie daty ważności aprobaty technicznej.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. (Dz. U. 2018, poz. 1233) definiuje krajowe specyfikacje techniczne jako polskie normy lub krajowe oceny techniczne (KOT). Krajowa ocena techniczna obejmuje ocenę właściwości użytkowych wyrobu, która wykonywana jest na podstawie badań próbek, obliczeń, wartości tabelarycznych lub opisowej dokumentacji wyrobu z uwzględnieniem zastosowanych przepisów odrębnych – w tym techniczno-budowlanych – oraz podstaw naukowych i wiedzy praktycznej. Czasokres, na jaki wydawane są dokumenty – podobnie jak w przypadku poprzedniego systemu – zależy od krajowych specyfikacji technicznych, na podstawie których są wydawane. Jednostka Certyfikująca CNBOP-PIB w przypadku polskich norm wydaje dokumenty certyfikacyjne na okres 10 lat. Gdy zastosowanie mają krajowe oceny techniczne, podobnie jak w kwestii aprobat technicznych, krajowe certyfikaty stałości właściwości użytkowych wydawane są na okres ważności KOT.

Znakowanie oraz dokumenty towarzyszące podczas wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych

Krajowa deklaracja właściwości użytkowych

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016 poz. 1966) wskazuje wzór treści krajowej deklaracji właściwości użytkowych, który przedstawiony został w załączniku nr 2 do niniejszego rozporządzenia. Jej elementy zaprezentowano poniżej.

Zgodnie z §9 ww. rozporządzenia producent powinien udostępniać kopię krajowej deklaracji właściwości użytkowych na swojej stronie internetowej przez okres dziesięciu lat od dnia wprowadzenia wyrobu budowlanego do obrotu. Producent jest także zobowiązany zapewnić, aby zawartość krajowej deklaracji nie była zmieniana po jej udostępnieniu oraz przy oznakowaniu wyrobu budowlanego znakiem budowlanym wskazać w informacji adres strony internetowej, na której udostępniana jest krajowa deklaracja. W przypadku, gdy krajowa deklaracja nie jest udostępniona na witrynie producenta, kopię tej deklaracji producent jest zobowiązany przesłać odbiorcy wyrobu budowlanego drogą elektroniczną. Odbiorca ma prawo zażądać kopii krajowej deklaracji w postaci papierowej. W przypadku, gdy dla jednego odbiorcy przeznaczona jest

other required documents, conducted the assessment of the suitability of using the construction product in construction. The validity period of technical approvals was 5 years.

Certification documents issued by the Certification Body had a specific validity period which depended on the technical specification. Where the reference document was a Polish standard, certificates of conformity were issued for 5 years. In cases where the technical specification was the technical approval, the validity period was determined on the basis of the technical approval validity period.

Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 (Journal of Laws of 2018, item 1233) defines National Technical Specifications as Polish standards or National Technical Assessments (KOT). A National Technical Assessment includes the assessment of product performance, which is conducted on the basis of sample tests, calculations, table values or descriptive documentation of the product, taking into consideration the separate regulations applied, including the technical and construction regulations, as well as scientific principles and practical knowledge. The period of time for which the documents are issued – like in the previous system – depends on the National Technical Specifications on the basis of which they are issued. For Polish standards, the Certifying Body CNBOP-PIB issues certification documents for a period of 10 years. Where National Technical Assessments apply, similarly as for Technical Approvals, National Certificates of Constancy of Performance are issued for the period of validity of National Technical Assessments.

The markings and supporting documents during the placing or making available on the domestic market of construction products

National Declaration of Performance

Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966) provides the template for the content of the National Declaration of Performance, which is presented in Appendix No. 2 to this Regulation. The template is shown below.

Pursuant to §9 of the said Regulation, the manufacturer should make available a copy of the National Declaration of Performance on its website for a period of ten years from the day of placing the construction product on the market. The manufacturer must also ensure that the content of the national declaration does not change after it is made available and indicate the address of the website where the declaration is available with the construction mark on the construction product. Where the national declaration is not made available on the manufacturer's website, the manufacturer must send a copy of this declaration by e-mail to the construction product recipient. The recipient has the right to request a copy of the national declaration in printed form. In cases where one recipient receives multiple pieces of the same construction product, it is allowed

dostawa wielu tych samych wyrobów budowlanych, możliwe jest dołączenie tylko jednego egzemplarza krajowej deklaracji w postaci papierowej albo elektronicznej.

to attach only one copy of the national declaration in printed or electronic form.

WZÓR

KRAJOWA DEKLARACJA WŁAŚCIWOŚCI UŻYTKOWYCH

nr

- Nazwa i nazwa handlowa wyrobu budowlanego:
- Oznaczenie typu wyrobu budowlanego¹⁾:
- Zamierzone zastosowanie lub zastosowania:
- Nazwa i adres siedziby producenta oraz miejsce produkcji wyrobu:
- Nazwa i adres siedziby upoważnionego przedstawiciela, o ile został ustanowiony:
- Krajowy system zastosowany do oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych:
- Krajowa specyfikacja techniczna:
 - Polska Norma wyrobu:

Nazwa akredytowanej jednostki certyfikującej, numer akredytacji i numer krajowego certyfikatu lub nazwa akredytowanego laboratorium/laboratoriów i numer akredytacji²⁾:
- Deklarowane właściwości użytkowe:

Zasadnicze charakterystyki wyrobu budowlanego dla zamierzonego zastosowania lub zastosowań	Deklarowane właściwości użytkowe	Uwagi ³⁾
- Właściwości użytkowe określonego powyżej wyrobu są zgodne z wszystkimi wymienionymi w pkt 8 deklarowanymi właściwościami użytkowymi. Niniejsza krajowa deklaracja właściwości użytkowych wydana zostaje zgodnie z ustawą z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych, na wyłączną odpowiedzialność producenta.

(imię i nazwisko oraz stanowisko)

(miejscie i data wydania) (podpis)

¹⁾ Zgodnie z krajowymi systemami oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych określonymi w § 4 rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. poz. 1966) producent określa typ wyrobu budowlanego, dla którego sporządza on krajową deklarację właściwości użytkowych. Sposób oznaczenia tak określonego typu wyrobu budowlanego w krajowej deklaracji właściwości użytkowych ustala producent. Oznaczenie to należy powiązać z typem wyrobu, a więc z zestawem poziomów lub klas właściwości użytkowych oraz zamierzonym zastosowaniem wyrobu, określonymi w krajowej deklaracji. Oznaczenie powinno być niepowtarzalne w odniesieniu do typów wyrobów budowlanych produkowanych przez danego producenta.

²⁾ Wypełnić, jeżeli jednostka certyfikująca lub laboratorium/laboratoria brały udział w zastosowanym krajowym systemie oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobu budowlanego.

³⁾ W przypadku zastosowania przepisu § 5 ust. 1 pkt 1 i 2 oraz ust. 2 niniejszego rozporządzenia, w kolumnie trzeciej należy wskazać, który z wyżej wymienionych przepisów w odniesieniu do zasadniczej charakterystyki wyrobu został zastosowany.

Rycina 2. Wzór krajowej deklaracji właściwości użytkowych.

Figure 2. The template of a National Declaration of Performance

Źródło: Załącznik nr 2 do rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016, poz. 1966).

Source: Appendix No. 2 to the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966).

Znak budowlany wraz z towarzyszącymi mu informacjami

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016 poz. 1966) wskazuje konieczność znakowania wyrobu budowlanego znakiem budowlanym przed wprowadzeniem go do obrotu lub udostępnieniem na rynku krajowym.

Załącznik nr 1 do Ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych określa wzór znaku budowlanego, który przedstawia poniższa rycina.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania

Construction mark and associated information

Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966) provides for the need to place a construction mark on construction products prior to their placing or making available on the domestic market.

Appendix No. 1 to the Act of 16 April 2004 on construction products defines the design of the construction mark, as shown in the Figure below.

Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance



Rycina 3. Wzór znaku budowlanego

Figure 3. Construction mark design

Źródło: Załącznik nr 1 do Ustawy z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych.

Source: Appendix No. 1 to the Act of 16 April 2004 on construction products.

właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016, poz. 1966) precyzuje, iż należy go umieścić w sposób widoczny, czytelny i trwały, bezpośrednio na wyrobie budowlanym albo na etykiecie przymocowanej do tego wyrobu. W przypadku, gdy umieszczenie znaku budowlanego w taki sposób nie jest możliwe z uwagi na wielkość lub charakter wyrobu budowlanego, znak budowlany umieszcza się na opakowaniu jednostkowym lub opakowaniu zbiorczym wyrobu budowlanego, ewentualnie na dokumentach towarzyszących wyrobowi.

Znaku budowlanemu powinny towarzyszyć następujące informacje:

- dwie ostatnie cyfry roku, w którym znak budowlany został po raz pierwszy umieszczony na wyrobie budowlanym;
- nazwa i adres siedziby producenta lub znak identyfikacyjny pozwalający jednoznacznie określić nazwę i adres siedziby producenta;
- nazwa i oznaczenie typu wyrobu budowlanego;
- numer referencyjny Polskiej Normy lub numer i rok wydania krajowej oceny technicznej, zgodnie z którą zostały zadeklarowane właściwości użytkowe;
- numer krajowej deklaracji właściwości użytkowych wraz z ewentualnym wskazaniem adresu strony internetowej, gdzie jest ona dostępna do pobrania;
- poziom lub klasa zadeklarowanych właściwości użytkowych;
- nazwa jednostki certyfikującej, gdy jednostka uczestniczyła w ocenie i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobu budowlanego;
- adres strony internetowej producenta, na której udostępnił krajową deklarację właściwości użytkowych – jeśli dotyczy.

Rozporządzenie dopuszcza umieszczenie innych znaków oraz napisów, pod warunkiem że nie będą one ograniczać widoczności i czytelności oznakowania znakiem budowlanym oraz ww. informacji. Ich znaczenie i forma graficzna nie powinny wprowadzać w błąd użytkowników.

Okres przejściowy

Rozporządzenia wskazały dwa okresy przejściowe dotyczące przygotowania krajowych deklaracji właściwości użytkowych. Pierwszy z nich dotyczy krajowych deklaracji wystawianych dla nowych wyrobów, natomiast drugi obejmuje informacje na temat postępowania w przypadku deklaracji sporządzonych przed 31.12.2018 r.

Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016 poz. 1966) określa, iż wyroby budowlane wskazane w załączniku nr 1 do tego rozporządzenia, dla których przed 31.12.2018 r. nie było obowiązku znakowania ich znakiem budowlanym (wyróżnione kolorem czerwonym w tablicy 1), nie są objęte obowiązkiem sporządzania krajowej deklaracji właściwości użytkowych przy wprowadzaniu do obrotu lub udostępnianiu na rynku krajowym tego wyrobu budowlanego do dnia 30 czerwca 2018 r. Rozporzą-

dekowania wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Journal of Laws of 2016, item 1966) specifies that it should be legible and durable and placed in a visible place directly on the construction product or on a label attached to the product. If placing the construction mark in this manner is not possible due to the size or nature of the construction product, the construction mark is placed on the unit packaging or collective packaging of the construction product, or alternatively on the documents provided with the construction product.

The construction mark should be accompanied by the following information:

- the two last digits of the year in which the construction mark was first placed on the construction product;
- the name and address of the manufacturer's registered office or an identification mark allowing explicit identification of the name and address of the manufacturer's registered office;
- the name and type designation of the construction product;
- the reference number of the Polish Standard or number and year of issue of a National Technical Assessment which served as the basis for the declaration of performance;
- the number of the National Declaration of Performance along with the potential indication of the address of a website from which it can be downloaded;
- the level or class of the declared performance;
- the name of the certification body, where the certification body participated in the assessment and verification of the constancy of performance of the construction product;
- the address of the manufacturer's website on which it has made available the National Declaration of Performance – if applicable.

The Regulation allows the placement of other marks and text, provided that they do not restrict the visibility and readability of the construction mark designation and the said information. Their meaning and graphical form should not be misleading to users.

Transitional period

The regulations provided for two transitional periods concerning the preparation of the National Declarations of Performance. The first of these relates to the national declarations issued for new products, while the other covers information on the procedure for declarations made before 31 December 2018.

Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966) specifies that construction products indicated in Appendix No. 1 to this Regulation, for which there was no obligation to place a construction mark before 31 December 2018 (marked red in Table 1) are not under the obligation to prepare a National Declaration of Performance when placing or making available on the domestic market of this construction product until 30 June 2018. The Regulation of the Minister of Investment and

dzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 13 czerwca 2018 r. zmieniające powyżej przytoczone rozporządzenie wydłużyło okres przejściowy do 30 czerwca 2019 r.

Producenci wyrobów budowlanych, którzy sporządzili krajową deklarację właściwości użytkowych oraz znakowali je znakiem budowlanym przed 31 grudnia 2016 r. (na podstawie art. 5 ust. 2 ustawy z dnia 25 czerwca 2015 r. o zmianie ustawy o wyrobach budowlanych, ustawy – Prawo budowlane oraz ustawy o zmianie ustawy o wyrobach budowlanych oraz ustawy o systemie oceny zgodności (Dz. U. poz. 1165)), mogli stosować niniejszy sposób znakowania wyrobu budowlanego znakiem budowlanym oraz zakres informacji towarzyszących temu wyrobowi do dnia 30 czerwca 2017 r.

Podsumowanie

Niniejszy artykuł przedstawia zależności i różnice krajowych systemów: zgodności i stałości właściwości użytkowych. Omówiony został zakres zmian w odniesieniu do wyrobów służących ochronie przeciwpożarowej, na które nałożony jest obowiązek deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych i sposobu znakowania ich znakiem budowlanym. Można zauważyć tendencję do rozszerzania zakresu wyrobów budowlanych służących ochronie przeciwpożarowej; nowe rozporządzenia dodały aż pięć nowych podgrup zawierających się w grupie „stałe urządzenia przeciwpożarowe”.

Przedstawiono zakres oceny wykonywanej podczas wprowadzania do obrotu lub udostępniania na rynku krajowym wyrobów budowlanych służących do ochrony przeciwpożarowej. Dokonano podziału obowiązków spoczywających na producentach i jednostce certyfikującej, które uzależnione są od poszczególnych krajowych systemów. Ponadto zaprezentowano zmiany dotyczące nazewnictwa i zakresu specyfikacji technicznych będących podstawą do przeprowadzania procesów.

W artykule opisano również obowiązujący sposób znakowania znakiem budowlanym wynikający z ustawy o wyrobach budowlanych oraz informacje, jakie muszą towarzyszyć znakowaniu, wskazane w rozporządzeniu Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016, poz. 1966). Ponadto zaprezentowano również wzór krajowej deklaracji właściwości użytkowych wraz z warunkami jej udostępniania wynikający z ww. rozporządzenia.

Istotną informacją pojawiającą się w niniejszym artykule jest wskazanie okresu przejściowego obowiązywania poszczególnych zapisów rozporządzenia Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2016, poz. 1966). Został on wydłużony w rozporządzeniu Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 13 czerwca 2018 r. zmieniającym rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. 2018, poz. 1233).

Economic Development of 13 June 2018 amending the said Regulation extended the transitional period to 30 June 2019.

Construction product manufacturers who prepared the National Declaration of Performance and placed the construction mark on the products before 31 December 2016 (pursuant to Article 5 (2) of the Act of 25 June 2015 amending the Act on Construction Products, the Construction Law Act and the Act amending the Act on Construction Products and the Act on the System of Conformity Assessment (Journal of Laws, item 1164)) were allowed to use this manner of marking the construction product with the construction mark and the scope of supporting information for the product until 30 June 2017.

Summary

This paper presents the common points and differences between the national systems of conformity and constancy of performance. It discusses the extent of changes with regard to fire safety products subject to the obligation of providing declarations of performance for construction products and the manner of placing a construction mark. There is a noticeable trend to extend the range of construction products designed for fire protection; the new Regulations added as many as five new subgroups within the group “Fixed fire-fighting systems.”

This paper demonstrates the range of assessment conducted for placing or making available on the domestic market of construction products designed for fire protection. It indicates the division of duties on the part of the manufacturers and the certifying bodies, which depend on the individual national systems being used. It presents changes in naming and the scope of technical specifications forming the basis for the processes.

This paper also describes the current manner of marking construction products with the construction mark pursuant to the Act on Construction Products and information which must accompany the marking indicated in the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966). It also presents the template of the National Declaration of Performance, along with the conditions for making it available pursuant to the said Regulation.

Importantly, this paper indicates the transitional period for specific provisions of the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2016, item 1966). It was extended by the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 13 June 2018 changing the Regulation on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark (Journal of Laws of 2018, item 1233).

Literatura / Literature

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. 2016 r., poz. 1966).
- [2] Rozporządzenie Ministra Inwestycji i Rozwoju z dnia 13 czerwca 2018 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2018 r., poz. 1233).
- [3] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG (Dz. U. L 88/5 z 4.4.2011).
- [4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 11 sierpnia 2004 r. w sprawie sposobów deklarowania zgodności wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz. U. 2004 r. Nr 198, poz. 2041 z późn.zm.).
- [5] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz. U. 2004 r. Nr 92, poz. 881 z późn.zm.).
- [6] Ustawa z dnia 30 sierpnia 2002 r. o systemie oceny zgodności (tj. Dz.U. 2010 r. Nr 138, poz. 935 z późn. zm.).
- [7] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie krajowych ocen technicznych (Dz. U. 2016 r., poz. 1968).

MGR MARTA IWAŃSKA – absolwentka Collegium Civitas w Warszawie na Wydziale Socjologii, kierunek zarządzanie organizacjami pozarządowymi. Od ponad sześciu lat pracuje w CNBOP-PIB w Jednostce Certyfikującej.

MGR INŻ. KATARZYNA JANKOWSKA – absolwentka dziennych studiów I i II stopnia na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Od 2016 roku jest pracownikiem Jednostki Certyfikującej CNBOP-PIB w obszarze systemów tłumienia i gaszenia pożaru, systemów kontroli rozprzestrzeniania dymu i ciepła oraz kabli i przewodów zastosowania ogólnego.

MGR AGNIESZKA KOWALCZYK – absolwentka Uczelni Łazarskiego w Warszawie na Wydziale Prawa i Administracji, kierunek administracja. Od ponad 21 lat pracuje w CNBOP-PIB, a od 13 lat w Jednostce Certyfikującej.

MARTA IWAŃSKA, M.A. – graduated in non-governmental organisation management from the Faculty of Sociology at Collegium Civitas in Warsaw. She has worked at CNBOP-PIB's Certification Department for over six years.

KATARZYNA JANKOWSKA, M.SC. ENG. – graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering of the Main School of Fire Service (full-time studies, first and second cycle). Since 2016 she has worked at CNBOP-PIB's Certification Department in the field of fire suppression and extinguishing systems, smoke and heat control systems and general-purpose cables and ducts.

AGNIESZKA KOWALCZYK, M.A. – graduated in administration from the Faculty of Law and Administration of the Łazarski University in Warsaw. She has worked at CNBOP-PIB for 21 years and for 13 years in its Certification Department.



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.

mł. bryg. mgr inż. Wojciech Kłapsa^{a)}, bryg. mgr inż. Daniel Małozieć^{a)}, mgr inż. Alina Wolańska^{a)*}

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

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

Kable elektryczne w kontekście zagrożenia pożarowego i przepisów ochrony przeciwpożarowej

Electric Cables in the Context of Fire Hazard and Fire Protection Regulations

Электрические кабели в контексте угрозы возгорания и правил противопожарной защиты

ABSTRAKT

Cel: Głównym celem niniejszego artykułu jest przegląd wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego kabli elektrycznych i światłowodów. Dodatkowym celem jest przedstawienie sposobów badania ich cech palności.

Wprowadzenie: Od 2016 roku kable elektryczne i światłowodowe są uznawane za wyroby budowlane. W związku z tym przy wprowadzaniu ich na rynek podlegają one – jak każdy inny wyrób budowlany – przepisom rozporządzenia CPR. W artykule przedstawione zostały wymagania stawiane kablom przed dopuszczeniem ich do obrotu na rynku europejskim (w tym także polskim) oraz właściwości tych wyrobów weryfikowane w obszarze bezpieczeństwa pożarowego. W związku z tym, że norma zharmonizowana nie obejmuje swoim zakresem pewnych grup kabli (głównie w systemach bezpieczeństwa pożarowego), w kontekście tych grup omówiono wymagania krajowe stosowane przy wprowadzaniu ich na rynek. W artykule dokonano również syntetycznej analizy przepisów krajowych w obszarze wymagań dla kabli elektrycznych i światłowodowych w kontekście ochrony przeciwpożarowej.

Metodologia: Dokonano przeglądu wymagań prawnych na gruncie europejskim oraz krajowym w kontekście możliwości wprowadzenia do obrotu kabli elektrycznych lub światłowodowych. Przeprowadzono również analizę stanu prawnego w Polsce pod kątem wymagań z zakresu ochrony przeciwpożarowej dla kabli elektrycznych lub światłowodowych stosowanych w budownictwie, a także zaprezentowano metodyki badawcze stosowane do charakteryzowania tych wyrobów i oceny związanego z nimi zagrożenia pożarowego.

Wnioski: Podczas doboru okablowania w budynku, oprócz aspektów użytkowych w postaci funkcji elektrycznych, należy zwrócić również uwagę na zagrożenie pożarowe, jakie stanowi duże nagromadzenie kabli w wiązkach kablowych. Zaprezentowany w artykule przegląd potwierdził, że nie wszystkie kwestie są uregulowane przepisami prawa, a w niektórych przypadkach są uregulowane niewłaściwie. W związku z powyższym projektanci i rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych powinni stosować własną wiedzę techniczną na temat kabli, tym bardziej, że przepisy określają dla tych wyrobów tylko minimalne wymagania. Pomimo funkcjonowania od ponad roku (dwóch przy założeniu okresu przejściowego) wymagań CPR w zakresie określenia reakcji na ogień kabli elektrycznych, przepisy dotyczące zastosowania poszczególnych klas nie zostały opracowane, przez co nie ma jasnego przekazu, jakie wymagania należy stawiać kablom elektrycznym. Oprócz znajomości obowiązujących wymagań dla kabli elektrycznych i światłowodów, sposobu ich badań oraz zagrożeń, jakie niesie za sobą okablowanie w budynku, przy doborze okablowania potrzebna jest także wiedza techniczna. Należałoby przyjąć, aby przynajmniej w obszarze dróg ewakuacji, stosowane były kable elektryczne i światłowody o wyższych klasach reakcji na ogień.

Słowa kluczowe: kable elektryczne, światłowody, reakcja na ogień, CPR, znak B, badanie kabli, palność kabli, wymagania dla kabli

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 18.09.2018; Zrecenzowany: 17.12.2018; Zatwierdzony: 21.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: W. Kłapsa – 0000-0002-6481-587X; D. Małozieć – 0000-0003-4929-8656; A. Wolańska – 0000-0002-4609-8459;

Procentowy wkład merytoryczny: W. Kłapsa – 50%; D. Małozieć – 30%; A. Wolańska – 20%;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 184–201, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.11>;

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

ABSTRACT

Purpose: The purpose of this article is to review the fire safety requirements for electric and optical fibre cables and to present the methods for testing their flammability characteristics.

Introduction: Since 2016, electric and optical fibre cables have been recognised as construction products. Therefore, like all other construction products, they are subject to the Construction Products Regulation (CPR). This paper presents the requirements which must be met before placing cables on the European (including Polish) market, and their properties verified in the field of fire safety. Due to the fact that the harmonised standard does not cover

certain groups of cables (mainly in fire safety systems), the national requirements for placing the product on the market are also discussed. This paper also includes a synthetic analysis of national regulations in the area of requirements for electrical and optical fibre cables in the context of fire protection.

Methodology: A review of European and national legal requirements was performed in the context of the possibility of placing electric or optical fibre cables on the market as construction products. An analysis of the legal status in Poland was also carried out in terms of fire protection requirements for electric or optical fibre cables normally used in construction. This paper also presents the research methodologies allowing the characterisation and assessment of the fire hazard.

Conclusions: The large accumulation of cables in cable bundles is also a major fire hazard. The review confirmed that not all issues regarding the fire hazard caused by cables are regulated by law, and at some points they even lack proper regulation. However, this does not exempt designers and fire safety experts from using the available technical knowledge, bearing in mind that the regulations only specify the minimum requirements. Despite the fact that CPR standards specifying the reaction-to-fire performance of electric cables have been in force for over a year (two, if the transition period is taken into account), regulations as to the use of particular classes of cables have not been developed. This situation means that in Poland there is no clear specification of fire requirements for electric cables. In addition to the knowledge of the applicable requirements for electric cables and optical fibre, their testing methods and hazards related to wiring in buildings, technical knowledge is essential for the selection of wiring. An assumption can be made that, at least in the area of escape routes, electric cables and optical fibre with a higher reaction-to-fire performance should be used.

Keywords: electric cables, optical fibre, reaction to fire, CPR, B mark, cable testing, flammability of cables, fire requirements for cables

Type of article: review article

Received: 18.09.2018; Reviewed: 17.12.2018; Accepted: 21.12.2018;

Authors' ORCID IDs: W. Klapsa – 0000-0002-6481-587X; D. Małozieć – 0000-0003-4929-8656; A. Wolańska – 0000-0002-4609-8459;

Percentage contribution: W. Klapsa – 50%; D. Małozieć – 30%; A. Wolańska – 20%;

Please cite as: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 184–201, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.11>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Основной целью данной статьи является рассмотрение требований пожарной безопасности к электрическим кабелям и оптоволокну. Дополнительная цель – это представление методов тестирования их характеристик воспламеняемости.

Введение: С 2016 года электрические и волоконно-оптические кабели считаются строительной продукцией. В связи с этим, при размещении на рынке, они, как и любой другой строительный продукт, подпадают под действие положений Регламента Европейского парламента и Совета Европы. В статье представлены требования к кабелям перед их допущением к обороту на европейском рынке (включая также на польском), а также проверка свойств этих продуктов в области пожарной безопасности. В связи с тем, что гармонизированный стандарт не распространяется на определенные группы кабелей (в основном в системах пожарной безопасности), в контексте этих групп обсуждались национальные требования, предъявляемые к их размещению на рынке. Статья также включает синтетический анализ национальных нормативных актов в области требований к электрическим и оптоволоконным кабелям в контексте противопожарной защиты.

Методология: Обзор правовых требований на европейском и национальном уровне в контексте допуска к реализации электрических или оптоволоконных кабелей. Был также проведен анализ правового статуса в Польше с точки зрения требований противопожарной защиты к электрическим или волоконно-оптическим кабелям, используемым в строительстве, а также методологии исследований, использованных для характеристики этих продуктов и оценки сопутствующей пожарной опасности.

Выводы: При выборе типа кабельной проводки для здания, помимо функциональных аспектов в виде электрических функций, следует также обратить внимание на пожарную опасность, которая заключается в большом скоплении кабелей в кабельных пучках. Обзор, представленный в статье, подтвердил, что не все вопросы регулируются законом, а в некоторых случаях регулируются неправильно. Поэтому проектировщики и оценщики по пожарной безопасности должны использовать свои собственные технические знания о кабелях, тем более что нормативные акты устанавливают только минимальные требования к этим продуктам. Несмотря на то, что требования Регламента Европейского парламента и Совета Европы относительно определения реакции на возгорание электрических кабелей существует более года (два, если считать переходный период), правила использования отдельных классов не разработаны, а это означает, что нет четкого сообщения о том, какие требования следует выдвигать к электрическим кабелям. В дополнение к знанию текущих требований к электрическим кабелям и волоконной оптике, способов их тестирования и рисков прокладки кабелей в здании, необходимы также технические знания при выборе кабелей. Следует предположить, что, по крайней мере, в зоне путей эвакуации следует использовать электрические кабели и оптические волокна тех типов, которые имеют более высокую степень реакции на возгорание.

Ключевые слова: электрические кабели, оптические волокна, реакция на возгорание, РЕП, знак B, испытание кабеля, воспламеняемость кабеля, требования к кабелю

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 02.12.2018; Рецензирована: 17.12.2018; Одобрена: 21.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: W. Klapsa – 0000-0002-6481-587X; D. Małozieć – 0000-0003-4929-8656; A. Wolańska – 0000-0002-4609-8459;

Процентное соотношение участия в подготовке статьи: W. Klapsa – 50%; D. Małozieć – 30%; A. Wolańska – 20%;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 184–201, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.11>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Od ponad roku – po wielu latach ustaleń na szczeblu europejskim – obowiązują przepisy regulujące kwestię oceny kabli elektrycznych i światłowodów pod względem ich palności.

Introduction

The regulations laying down the rules for the flammability assessment of electric cables and optical fibre were adopted on the European scale more than a year ago, following many

Stosowane są one przy wprowadzaniu tych wyrobów na rynek europejski. Przy obecnym stanie zaawansowania technologicznego budynków wykorzystanie kabli w jednym tylko obiekcie liczone jest w kilometrach bieżących. Pomimo że istnieje wymóg prowadzenia głównych ciągów instalacji elektrycznej poza mieszkaniami i pomieszczeniami przeznaczonymi na pobyt ludzi (w wydzielonych kanałach lub szybach instalacyjnych), to należy mieć na uwadze podstawowy przepis Działu VI warunków technicznych dla budynków [1], który wymaga zaprojektowania i wykonania urządzeń związanych z budynkiem w sposób zapewniający w razie pożaru ograniczenie rozprzestrzeniania się ognia i dymu w budynku oraz możliwość ewakuacji ludzi. Kable elektryczne i światłowody w razie wystąpienia pożaru mogą spowodować zagrożenia w postaci:

- eskalacji pożaru wskutek obecności dużej ilości materiału palnego,
- rozprzestrzeniania się ognia,
- wydzielania dużej ilości dymu,
- wydzielania się substancji toksycznych,
- wytwarzania agresywnego środowiska korozyjnego.

W związku z powyższym nie można lekceważyć kwestii bezpieczeństwa pożarowego w obiektach budowlanych, które z kolei uwarunkowane jest zastosowaniem wyrobów kablowych o odpowiednich cechach palności. Istnieje potrzeba przeprowadzenia analizy, czy stan prawny w sposób jednoznaczny reguluje tę kwestię.

Obowiązujące przepisy prawa

Kable elektryczne zasilania (elektroenergetyczne)¹, sterujące i telekomunikacyjne (komunikacyjne)² stanowią 31. grupę wyrobów budowlanych wymienioną w załączniku IV do rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 305/2011(CPR) z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiającego zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylającego dyrektywę Rady 89/106/EEG [2]. W związku z powyższym producenci kabli elektrycznych i światłowodów powinni dokonywać deklaracji właściwości użytkowych (DoP) zgodnie z normą zharmonizowaną, europejską oceną techniczną wyrobu, a także oznakowywać wyroby wymienione w DoP znakiem CE. W 2006 roku decyzją komisji nr 2006/751/WE ustanowiono oddzielne klasy odporności na działanie ognia dla kabli elektrycznych [3]. W roku 2015 została opublikowana i ogłoszona zharmonizowana norma wyrobu PN-EN 50575 [4], która została w pełni wdrożona z początkiem lipca 2017 roku (Dz. Urz. UE z 13.11.2015 r. 2015/C 378/03). Zgodnie z zapisami tej normy producenci mają obowiązek potwierdzić właściwości kabli elektrycznych i światłowodów w zakresie reakcji na ogień na podstawie wymagań normy klasyfikacyjnej PN-EN 13501-6 [5]. Mając na uwadze powyższe, wszystkie kable elektryczne stosowane w budownictwie powinny mieć potwierdzone właściwości pożarowe, a także powinny być dobierane odpowiednio do miejsca zastosowania – jak ma to miejsce w przypadku innych wyrobów budowlanych.

¹ W polskim tłumaczeniu znajdują się dwie formy w zależności od aktu prawnego.

² jw.

years of discussions. They apply to placing such products on the European market. At the current stage of technological advancement of buildings, any engineering structure contains kilometres of cables. Although it is required for the core part of the electrical system cables to be located outside flats and rooms intended for human occupation (in separate ducts or conduits), the basic regulation of Section VI of the technical requirements for buildings [1] must be borne in mind. It requires that devices connected with the building should be designed and produced in a manner that reduces the spread of fire and smoke within the building and facilitates egress. In the event of a fire, electric cables and optical fibre may cause such hazards as:

- the escalation of fire due to the presence of a large amount of flammable materials,
- the spread of fire,
- the release of large amounts of smoke,
- the release of toxic substances,
- the appearance of aggressive corrosive agents.

Considering the above, it is important not to neglect fire safety in civil structures, which largely depends on the use of cable products with specific flammability properties. There is a need to analyse whether this issue is clearly addressed in the current legislative framework.

Legal regulation in force

Power (Polish: zasilania, elektroenergetyczne)¹, control (sterujące) and communication (telekomunikacyjne, komunikacyjne)² cables constitute Area 31 of construction products listed in Annex IV to Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC [2]. Due to the above, electric cable and optical fibre manufacturers should draw up declarations of performance (DoP) in accordance with the harmonised standard and the product's European Technical Assessment, as well as provide the products listed in DoP with CE marking. In 2006 Commission Decision No 2006/751/EC laid down the separate classes of reaction-to-fire performance for electric cables [3]. The harmonised standard for products PN-EN 50575 [4] was published in 2015 and fully implemented in early July 2017 (OJ EU of 13.11.2015, 2015/C 378/03). Pursuant to this standard, manufacturers must certify the reaction-to-fire performance properties of electric cables and optical fibre on the basis of classification standard PN-EN 13501-6 [5]. Taking the above into consideration, all electric cables used in construction should have certified fire performance and should be selected on the basis of their area of application, as for other construction products.

¹ The Polish translation includes two forms, depending on the legislation.

² See above.

W celu omówienia wymagania dotyczącego stosowania odpowiednich kabli elektrycznych w obiektach budowlanych należy dokonać rozgraniczenia na:

- I. Kable elektryczne i światłowodowe do ogólnych zastosowań;
- II. Kable do dostaw energii elektrycznej, zastosowań telekomunikacyjnych oraz detekcji pożaru i alarmowania o pożarze w budynkach i innych obiektach budowlanych, których nadrzędnym celem jest zapewnienie ciągłości zasilania i/lub sygnału instalacji bezpieczeństwa, takich jak instalacje alarmowe, ewakuacyjne i przeciwpożarowe, zespoły kablowe (kabel plus mocowanie).

Pierwszą grupę wyrobów można zastosować w budynku po spełnieniu wymagań określonych w rozporządzeniu UE nr 305/2011 tj. opatrzeniu wyrobu deklaracją właściwości użytkowych wydaną przez producenta, zgodnie z przyjętym systemem oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych wyrobu budowlanego i oznakowaniem znakiem CE [2].

W przypadku pozostałych dwóch grup mamy do czynienia z wyrobami wyłączonymi z normy zharmonizowanej PN-EN 50575, w tym służącymi zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia. Wyroby te podlegają obowiązkowi oceny technicznej na poziomie krajowym zgodnie z rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym [6] oraz w zależności od przyjętego systemu oceny i weryfikacji stałości właściwości użytkowych, certyfikacji krajowej i/lub procesowi dopuszczenia do użytkowania w ochronie przeciwpożarowej (jeżeli zaliczone są do grupy 14.1 i 14.2 wyrobów wymienionych wykazie wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia) [7]. Dla tych wyrobów zastosowanie ma art. 9 pkt. 1 ustawy o wyrobach budowlanych [8]. Oznacza to, że można dokonać krajowej oceny technicznej wyrobu. Jednostki upoważnione do wydawania, uchylania i zmiany krajowej oceny technicznej są wyznaczone przez ministra właściwego ds. budownictwa, który monitoruje ich działania i kompetencje. Jednostką taką w odniesieniu do wyrobów budowlanych wykorzystywanych przez podmioty ochrony przeciwpożarowej do alarmowania o pożarze lub innym zagrożeniu oraz stosowanych do prowadzenia działań ratowniczych jest np. CNBOP-PIB. Krajową ocenę techniczną (KOT) udziela się na podstawie oceny właściwości użytkowych i przewidywanej trwałości zidentyfikowanego wyrobu budowlanego. Właściwości te potwierdza się na podstawie przedstawionych badań, obliczeń, oględzin, opinii ekspertów lub innych dokumentów, zgodnie z przepisami szczególnymi, np. techniczno-budowlanymi lub polskimi normami wyrobów [9]. Po uzyskaniu krajowej oceny technicznej producent w zależności od wskazanego systemu oceny może otrzymać krajowy certyfikat zgodności i po wystawieniu krajowej deklaracji właściwości użytkowych może wprowadzić wyrób do obrotu.

Wyroby z grupy II i III zostały także ujęte w wykazie wyrobów przywołanych w załączniku do rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego

To discuss the requirement of using appropriate electric cables in civil structures, the cables should be divided into:

- I. General-purpose electric cables and optical fibre;
- II. Cables used for power supply, telecommunications, fire detection and signalling in buildings and other civil structures, the main purpose of which is to ensure the continuity of power supply and/or the operation of security systems, such as alarm, evacuation and fire protection systems. Cable systems (cable and fixing).

The first of these product areas can be used in buildings after complying with the requirements set out in Regulation EU No 305/2011 i.e. providing a declaration of performance issued by the manufacturer in accordance with the adopted system for the assessment and verification of the constancy of performance of a construction product and CE marking [2].

For the remaining two areas, these are products excluded from harmonised standard PN-EN 50575, including products used for ensuring public security and the protection of health, life and property. These products are subject to the obligation to undergo technical assessment at the national level pursuant to the Regulation of the Minister of Infrastructure and Construction of 17 November 2016 on the manner of declaring the performance of construction products and the procedure of marking them with a construction mark [6] and depending on the adopted system for the assessment and verification of the constancy of performance, national certification and/or the process of product approval in fire protection (if they are included in areas 14.1 and 14.2 of the products on the list of products used for ensuring public security and the protection of health, life and property) [7]. Such products are subject to Article 9 (1) of the Act on Construction Products [8]. This means that a National Technical Assessment can be issued for the product. The bodies authorised to issue, revoke and amend the National Technical Assessment are designated by the Minister in charge of construction, who monitors their activities and competences. With regard to construction products used by fire protection entities for signalling fires or other hazards and used during rescue actions, such an entity is CNBOP-PIB (the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute). A National Technical Assessment (KOT) is issued on the basis of an assessment of performance and the expected durability of the identified construction product. These properties are verified on the basis of the presented tests, calculations, inspections, expert opinions or other documents, in accordance with specific provisions, e.g. technical and construction standards or Polish standards for products [9]. After obtaining a National Technical Assessment, the manufacturer, depending on the indicated assessment system, may obtain a National Certificate of Compliance and, following the issue of the National Declaration of Performance, may place the product on the market.

Products from groups II and III were also included on the list of products listed in the Appendix to the Regulation of the Minister of the Interior and Administration on the specification of products used to assure public safety or the protection of health and life and property, as well as issuance rules for certificates of admittance for the use of those products [7], which means that the manufacturer must obtain a relevant certificate

lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania [7], i co za tym idzie, producent przed wprowadzeniem ich do użytkowania musi uzyskać odpowiednie świadectwo dopuszczenia wydawane przez CNBOP-PIB. Wyroby te powinny spełniać wymagania techniczne określone w załączniku do rozporządzenia. Obecnie brak jest polskiej normy wyrobu dla kabli (nieobjętych normą PN-EN 50575) i zespołów kablowych. Należy więc uprzednio uzyskać krajową ocenę techniczną, która stanowi podstawę do udzielenia świadectwa dopuszczenia. Po uzyskaniu świadectwa dopuszczenia można wprowadzić wyrób do użytkowania.

Kable zasilania (elektroenergetyczne), sterujące i telekomunikacyjne są wyrobami budowlanymi, przy czym nie dokonano żadnego formalnego podziału kabli ze względu na zastosowanie (budownictwo ogólne czy systemy bezpieczeństwa). Taki podział wynika z zapisów normy PN-EN 50575, w której, w rozdziale 1 – „Wprowadzenie”, pojawił się zapis, że wymagania normy nie dotyczą kabli elektrycznych, których najważniejszym celem jest zapewnienie ciągłości dostaw energii elektrycznej i/lub sygnału do instalacji alarmowych, dróg ewakuacji i instalacji gaśniczych [4]. Nie należy jednak tego interpretować w ten sposób, że kablom stosowanym w tych systemach nie stawia się wymagań dotyczących reakcji na ogień, tylko, że powinny one spełniać jeszcze dodatkowe kryteria wynikające z ich zastosowania końcowego.

Powyżej omówione zostały wymagania, które muszą spełnić kable elektryczne, jako wyrób budowlany, aby móc je wprowadzić na rynek. Poza wyżej wymienionymi kablom elektrycznym stawia się także wymagania stricte pożarowe. Podczas projektowania instalacji elektrycznych należy wziąć pod uwagę wymagania przepisów techniczno-budowlanych oraz rozważyć dobór kabli elektrycznych pod kątem ich zachowania w czasie pożaru (tj. czy wydzielają dużo ciepła, rozprzestrzeniają ogień, wydzielają dużą ilość dymu, są toksyczne lub wytwarzają agresywne środowisko dla elementów metalowych oraz czy powodują powstawanie kapiących płonących cząstek). Analiza przepisów krajowych pozwala stwierdzić, że obecnie nie ma jednolitych i precyzyjnych wymagań dla kabli elektrycznych. Funkcjonuje także wiele metod badawczych sprawdzania ich cechy ogniowych.

W rozporządzeniu Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [1] znajdują się ogólne wymagania dla instalacji elektrycznych, w tym kabli. Należy je tak dobrać, aby zapewnić ochronę przed pożarem (§180 ust. 2 [1]), a ciągi instalacji elektrycznej w budynkach mieszkalnych, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej należy wykonać zgodnie z polską normą PN-IEC 60364-5-52:2002 [10]. Warto zwrócić uwagę, że w obiegu jest również dostępny dokument harmonizacyjny o statusie polskiej normy PN-HD 60364-5-52:2011 ze zmianą A1, który wprowadza IEC 60364-5-52:2009.

W normie wskazano między innymi na konieczność zminimalizowania ryzyka rozprzestrzeniania się ognia przez oprowadowanie. Można to osiągnąć poprzez spełnienie wymagań serii norm PN-EN 60332-1 [11] oraz PN-EN 60332-3 [12]. Pierwsza seria norm wskazuje metodę badania, które musi przejść każdy kabel elektryczny. Metoda ta sprawdza, jak zachowuje

of admittance issued by CNBOP-PIB. These products should meet the technical requirements specified in the Appendix to the Regulation. Currently there is no Polish product standard for cables (not covered by standard PN-EN 50575) and cable systems. A National Technical Assessment must first be obtained, as it forms the basis for issuing a certificate of admittance. After obtaining the certificate of admittance, the product may be put into use.

Power, control and communication cables are construction products, although there is no formal division of cables by application (general construction or safety systems). Such a division results from the PN-EN 50575 standard, which, in Chapter 1 - "Introduction" provides that the requirements of the standard do not concern electric cables, the main purpose of which is to maintain the continuity of electric energy supplies and/or signal for alarm systems, evacuation routes and fire extinguishing systems [4]. However, this does not mean that cables used in these systems are not subject to requirements concerning reaction-to-fire performance, but that they should also comply with additional criteria resulting from their end use.

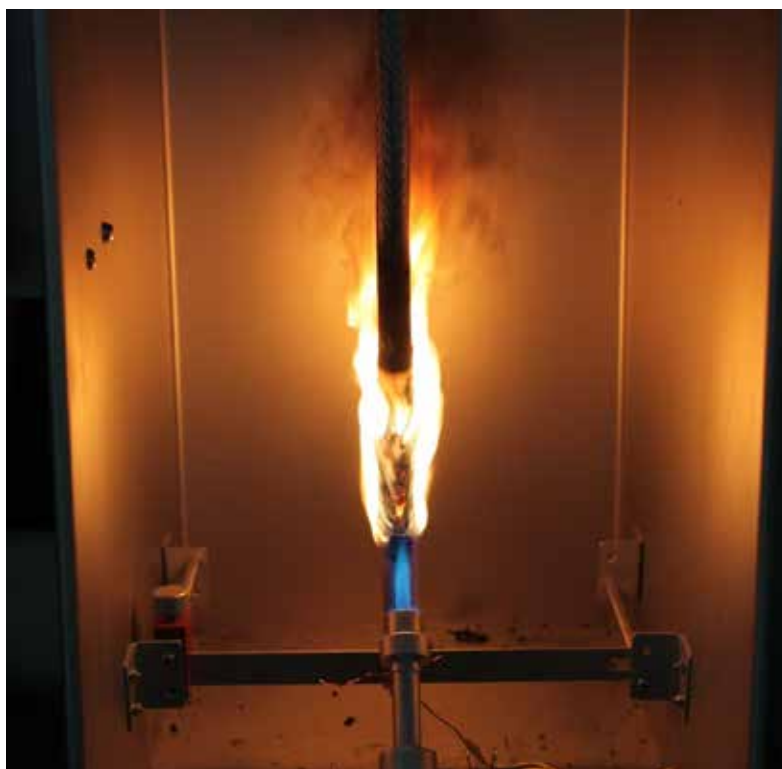
The requirements to be met by electric cables as a construction product to be placed on the market are discussed above. In addition to the above-mentioned requirements, electric cables must also comply with strictly fire-related regulations. The design process of electric systems should take into account the requirements of technical and construction regulations and consider the selection of electric cables on the basis of their behaviour during a fire (i.e. whether they release large amounts of heat, spread the fire, release large amounts of smoke, are toxic, create an aggressive environment for metal elements, or cause flaming droplets). An analysis of the national regulations demonstrates that there are currently no uniform and precise requirements for electric cables. There is also a variety of test methods used to determine their fire characteristics.

The Regulation of the Minister of Infrastructure on the technical conditions to be met by buildings and their location [1] contains general requirements for electric systems, including cables. Their selection should be based on fire protection (§180 (2)[1]) and electric system lines in residential buildings, multi-apartment residential buildings and public utility buildings should be made according to Polish standard PN-IEC 60364-5-52:2002 [10]. It should be noted that a harmonisation document having the status of a Polish standard, PN-HD 60364-5-52:2011 with amendment A1, which introduces IEC 60364-5-52:2009, is also in circulation.

The standard includes the need to minimise the risk of fire spreading through wiring. This can be achieved by complying with the requirements of the PN-EN 60332-1 [11] and PN-EN 60332-3 [12] series of standards. The former indicates the method of testing to which each electric cable must be subjected. This method tests the behaviour of a single insulated cable or duct during the vertical spreading of the flame. This method makes it possible to determine whether the insulation or coating material is a self-extinguishing material. The test involves the point application of an ignition source of 1 kW to the sample,

się pojedynczy izolowany przewód lub kabel podczas pionowego rozprzestrzeniania się płomienia. Na podstawie tej metody można określić, czy materiał, z którego wykonana została izolacja lub powłoka, jest materiałem samogasnącym. Badanie polega na punktowym przyłożeniu źródła ognia o mocy 1 kW do badanej próbki, a następnie zmierzeniu długości spalania na powierzchni kabla oraz obserwacji, czy nie występują kapiące, palące się cząstki [11]. Na rycinie 1 przedstawiono przykładowe badanie według opisanej metody.

followed by the measurement of the cable surface's length of incineration and observation whether flaming droplets appear. Figure 1 presents an example test conducted according to the said method.



Rycina 1. Przykładowe badanie wg PN-EN 60332-1-2

Figure 1. Example test according to PN-EN 60332-1-2

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Spełnienia wymagań drugiej z wymienionych norm badawczych wymaga się, gdy przewidywane jest wystąpienie w instalacji szczególnego zagrożenia. Wymaganie wskazano w normie w postaci uwagi do zapisu podstawowego. Metody badawcze wskazane w serii norm PN-EN 60332-3 dotyczą rozprzestrzeniania płomienia wzdłuż pionowo zamontowanych wiązek kabli lub przewodów. Stosuje się tam źródło ognia w postaci palnika o mocy 20,5 kW. Liczbę odcinków kabli wymaganych do badania określa się za pomocą przelicznika objętości materiału palnego na 1 metr badanej wiązki, w zależności od tego, na jaką kategorię będzie badany wyrób. Rozróżnia się pięć kategorii od najlepszej do najgorszej: A F/R, A, B, C, D. Im lepsza kategoria kabla, tym więcej materiału palnego (objętościowo) przypada na metr badanej wiązki. Czas aplikacji źródła ognia również jest uzależniony od kategorii i wynosi 20 lub 40 min. Kabel elektryczny przechodzi pozytywnie próbę, gdy wysokość wypalenia nie przekracza 2,5 m od poziomu palnika.

The latter of the test standards must be complied with in systems with expected elevated fire hazards. The requirement is identified in the standard in the form of a comment to a primary entry. The test methods indicated in the PN-EN 60332-3 series of standards relate to the spreading of the flame along cable or duct bundles installed vertically. They make use of an ignition source in the form of a torch with a power of 20.5 kW. The number of cable sections required to be tested is calculated according to the conversion factor of flammable material volume per 1 metre of the tested bundle, depending on the class to which the product is tested. There are five classes ranked from best to worst: A F/R, A, B, C, D. The higher the cable's class, the more flammable material (by volume) there is per one metre of the tested bundle. The duration of application of the ignition source also depends on the class and is equal to 20 or 40 minutes. Electric cables pass the test when the char height does not exceed 2.5 m from the torch level.



Rycina 2. Stanowisko badawcze wg serii PN-EN 60332-3 w CNBOP-PIB

Figure 2. Test stand according to PN-EN 60332-3 series in CNBOP-PIB

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 3. Przykładowa próbka badawcza przed badaniem wg PN-EN 60332-3-22

Figure 3. An example of a test sample before testing according to PN-EN 60332-3-22

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 4. Przykładowa próbka badawcza po badaniu wg PN-EN 60332-3-22

Figure 4. An example of a test sample after testing according to PN-EN 60332-3-22

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Kolejne zapisy na temat wymagań, jakie musi spełnić oprowadowanie w obiekcie, znajdują się w normie PN-HD 60364-4-42 Ochrona przed skutkami oddziaływania cieplnego [13]. Wymagania te różnią się w zależności od oddziałujących na urządzenia elektryczne (w tym i kable) wpływów zewnętrznych, które zostały określone w tablicy 51A w normie PN-HD 60364-5-51 [14]. W warunkach BD2 (mała gęstość zaludnienia, trudne warunki ewakuacji), BD3 (duża gęstość zaludnienia, łatwe warunki ewakuacji), BD4 (duża gęstość zaludnienia, trudne warunki ewakuacji) oprowadowanie powinno prowadzić się poza drogami ewakuacji, chyba że prowadzone jest w odpowiednich osłonach lub obudowach. Dodatkowo droga kablowa powinna być możliwie najkrótsza, nie może rozprzestrzeniać ognia, a także powinna mieć ograniczoną intensywność wydzielania dymu. W normie wskazano, jako warunek nierozprzestrzeniania ognia, spełnienie wymagań wg PN-EN 60332-1-2 oraz serii PN-EN 60332-3. Kable spełniające wymóg 60% przepuszczalności światła wg PN-EN 61034-2 [15] traktowane są jako wyroby o ograniczonej intensywności wydzielania dymu. W warunkach BE2 (ryzyko ognia) wskazany jest warunek nierozprzestrzeniania ognia potwierdzony w ten sam sposób. W warunkach CB2 (rozprzestrzenianie ognia) kable powinny przejść próbę według serii norm PN-EN 60332-3. W pomieszczeniach, w których zagrożone są dobra znaczącej wartości, należy instalować kable i przewody z ulepszonymi cechami odporności ogniowej w przypadku zagrożenia ogniem, spełniające kryteria podane wg serii IEC 60331-1 [16] oraz IEC 60331-21 [17]. Pierwsza z norm jest kompilacją IEC 60331-12 i IEC 60331-31 (występujących w zbiorze polskich norm) i obecnie nie ma jeszcze statusu polskiej normy.

Warto zwrócić szczególną uwagę na zapis §258 ust. 2 warunków technicznych [1], który wprowadza zakaz stosowania materiałów i wyrobów budowlanych łatwo zapalnych na drogach komunikacji ogólnej służących do ewakuacji. Do tej pory nie zdefiniowano parametru łatwopalności w stosunku do kabli i przewodów elektrycznych, pomimo że jest są one wyrami budowlanymi. Pewnym krokiem w tym kierunku jest stosowanie klasyfikacji reakcji na ogień wg PN-EN 13501-6 i próba odniesienia jej przez analogię do innych materiałów budowlanych, o czym będzie mowa w dalszej części artykułu. W kolejnym zapisie dotyczącym kabli i przewodów stosowanych w przestrzeni podpodłogowej oraz ponad sufitem podwieszanym, wykorzystywanej do wentylacji lub ogrzewania pomieszczenia (§259 ust. 2) znajduje się wymaganie cechy niepalności [1]. Bazując na normie klasyfikacyjnej PN-EN 13501-6 oraz w odniesieniu do wymagań stawianych innym materiałom budowlanym, za kabel lub przewód niepalny można by uznać wyrób, którego ciepło spalania jako całego wyrobu (poza częściami metalowymi) jest nie większe niż 2 MJ/kg – czyli w klasie reakcji na ogień Aca. Wskazanie innej klasy (np. B1ca) wymaga dodatkowej analizy wyników wielu badań.

Poza ogólnymi wymaganiami dla przewodów i kabli określonymi przez rozporządzenie w sprawie warunków technicznych [1] pojawiają się również zapisy dotyczące przewodów i kabli stosowanych w systemach ochrony przeciwpożarowej oraz zespołów kablowych (§187 ust. 3). Jak już wcześniej wspomniano, wyroby te są badane według krajowych ocen technicznych wydawanych przez CNBOP-PIB. Poprzez zespoły należy rozumieć

Further provisions on the requirements to be met by wiring in a civil structure can be found in the PN-HD 60364-4-42 standard – Protection against thermal effects [13]. The requirements differ depending on the external impacts affecting the electric device (including cables), which were specified in Table 51A in the PN-HD 60364-5-51 standard [14]. Under BD2 conditions (low-density occupation, difficult evacuation conditions), BD3 (high-density occupation, easy evacuation conditions), BD4 (high-density occupation, difficult evacuation conditions), wiring routes should be installed outside escape routes, unless it is provided with suitable coatings or housings. The cable route should also be as short as possible, it should not contribute to spreading fire and it should also have a limited intensity of smoke release. As a condition for preventing the fire from spreading, the standard indicates compliance with the requirements of PN-EN 60332-1-2 and PN-EN 60332-3 series. Cables complying with the 60% light transmission requirement according to PN-EN 61034-2 [15] are treated as products with a limited smoke production rate. Under BE2 conditions (risk of fire) a requirement for fire spread prevention certified in the same way is indicated. Under CB2 conditions (spread of fire), cables should be subject to a test according to the PN-EN 60332-3 series of standards. In rooms where high-value goods are stored, cables and conduits with elevated fire resistance compliant with the criteria specified according to series IEC 60331-1 [16] and IEC 60331-21 [17] should be installed. The former is a compilation of the IEC 60331-12 and IEC 60331-31 standards (present in the collection of Polish standards) and currently does not have the status of a Polish standard.

Particular attention should be drawn to §258 (2) of the technical conditions [1], which introduces a ban on using flammable construction materials and products along general routes used as escape routes. To date, the parameter of flammability in relation to electric cables and conduits has not been defined, even though these are construction products. Some progress towards this definition has been made by the application of the reaction-to-fire performance classification according to PN-EN-13501-6 and an attempt to relate it by analogy to other construction materials, which is discussed further in this paper. Another provision regarding cables and conduits used in the sub-floor space and over the suspended ceiling used for ventilation or heating the room (§259 (2)) mentions the requirement of non-flammability [1]. On the basis of the PN-EN 13501-6 classification standard and with reference to the requirements imposed on other construction materials, a non-flammable cable or conduit can be defined as a product with a heat of combustion (for the whole product except its metal parts) no higher than 2 MJ/kg – i.e. in the Aca reaction-to-fire performance class. Applying a different class (e.g. B1ca) would require performing additional analysis of the results of numerous tests.

In addition to the general requirements for cables and conduits specified by the Regulation on the technical conditions [1], there are also provisions regarding cables and conduits used in fire protection systems and regarding cable systems (§187 (3)). As already mentioned, these products are studied according to national technical assessments issued by CNBOP-PIB.

przewody i kable elektryczne oraz światłowody wraz z ich zamocowaniami. Głównym badanym parametrem w przypadku zespołów kablowych jest zapewnienie ciągłości dostawy energii elektrycznej lub przekazu sygnału przez wymagany czas. Klasyfikacji zespołu kablowego wyrażonego w postaci parametru „E” ze wskazaniem minut (30, 60, 90) dokonuje się na podstawie normy DIN 4102-12 [18]. Metoda ta jest wskazywana w krajowej ocenie technicznej jako bardziej adekwatna do badanego wyrobu niż przywołana w rozporządzeniu [1] norma PN-EN 1363-1:2001. Przy czym w obu metodach krzywa nagrzewania w piecu badawczym jest tożsama. Należy w tym miejscu zwrócić uwagę na fakt, że krajowa ocena techniczna może być wydana oddzielnie na kabel, system mocowań (kablowych konstrukcji nośnych) oraz kompletny zespół kablowy spełniający kryterium podtrzymania funkcji „E” w określonym czasie. Nie oznacza to jednak możliwości „mieszania” zespołów kablowych. Odporność ogniową potwierdza się dla kompletnego zespołu kablowego, tj. konkretny kabel na konkretnej konstrukcji nośnej [18]. Rozdzielenie tych wyrobów spowodowane jest wymogiem uzyskania świadectwa dopuszczenia dla każdego z nich osobno, ponieważ w rozporządzeniu [7] regulującym kwestię wydawania świadectw dopuszczenia, wyroby te funkcjonują oddzielnie.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że w 2016 roku do katalogu polskich norm wprowadzona została norma PN-EN 50577 [19], która również dotyczy badania zespołów kablowych i wprowadza nową klasyfikację „P” wyrażoną także w minutach. Niemniej jednak ta klasyfikacja nie ma jeszcze odniesienia w polskich przepisach. Dotyczy ona standardowych wykonanów zespołów kablowych zawierających kable bądź inne przewody elektroenergetyczne o napięciu znamionowym nieprzekraczającym 600 V/1000 V lub światłowody. Same systemy mocowania kabli powinny być zgodne z EN 61537 Prowadzenie przewodów – Systemy korytek i systemy drabinek instalacyjnych [20]. W tym przypadku klasyfikacja dopuszcza mieszanie badanych wyrobów tj. różnych kabli i zamocowań posiadających klasyfikację „P”, przy czym przyjmuje się gorszą klasę dla całego zespołu kablowego.

W przypadku stosowania zespołów kablowych w pomieszczeniach chronionych stałymi wodnymi urządzeniami gaśniczymi, o czym mowa w §187 ust. 4 [1], powinny one być odporne na działanie wody. Nie wskazano jednak rodzaju badań potwierdzających ten parametr. W praktyce CNBOP-PIB przyjęło, że warunek ten jest spełniony w przypadku, gdy kabel zastosowany w zespole kablowym przechodzi pozytywnie badanie wg PN-EN 50200 [21] z użyciem wody (załącznik E do normy).

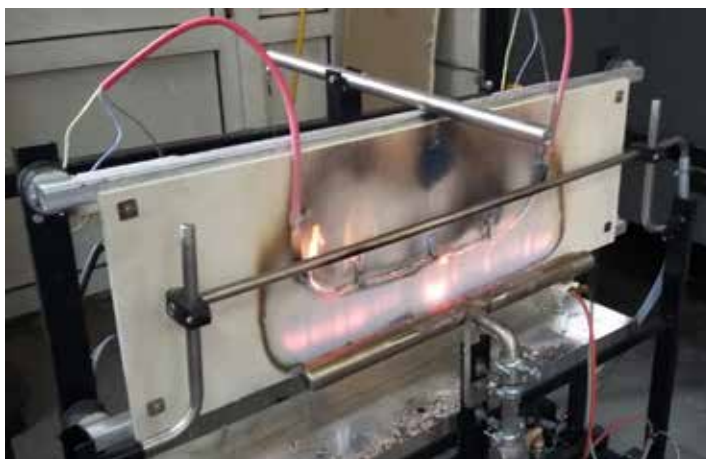
Jeszcze inne wymagania stawia się kablom i przewodom elektrycznym, o których mowa w §187 ust. 5 [1]. Dotyczy to kabli wykorzystywanych w obwodach systemów alarmu pożarowego, oświetlenia awaryjnego i łączności. Powinny one się charakteryzować parametrem „PH” odpowiednim do czasu wymaganego działania. Klasę PH potwierdza się poprzez badanie według PN-EN 50200. Badanie to polega na sprawdzeniu, czy kabel zamocowany wskazanymi uchwytami do podłoża niepalnego, poddany działaniu źródła ognia w postaci palnika wytwarzającego płomień o temperaturze ok. 840°C, jest zdolny do zachowania ciągłości obwodu. Na rycinie 5 pokazano przykładowe badanie.

Cable systems mean electric cables and conduits and optical fibre, along with their fixing. The primary parameter tested for cable systems is their ability to ensure the continuity of power supply and signal transmission over the required time period. Cable system classification expressed as parameter “E” and the number of minutes (30, 60, 90) is performed pursuant to the DIN 4102-12 standard [18]. This method is suggested in the national technical assessment as more suitable for the tested product than the PN-EN 1363-1:2001 standard mentioned in Regulation [1]. Both methods share the same heating curve in the test furnace. It should be pointed out that the national technical assessment may be issued separately for the cable, fixing system (for cable bearing systems) and a complete cable system meeting the criterion of maintaining function “E” over a specific period of time. This does not mean that cable systems can be combined. Fire resistance is certified for the complete cable system, i.e. a specific cable on a specific cable bearing system [18]. The reason for the separation of these products is the requirement to obtain a certificate of admittance for each of them separately, as in Regulation [7] laying down the rules of issuing certificates of admittance these products are referred to separately.

It should be noted that in 2016 the collection of Polish standards was extended by the PN-EN 50577 standard [19], which also concerns cable system testing and introduces the new “P” classification, which is also expressed in minutes. However, this classification is not yet referred to in Polish regulations. It concerns standard implementations of cable systems containing electric cables or other conduits with a rated voltage of no more than 600 V/1000 V or optical fibre. The fixing systems for cables, separately, should comply with EN 61537 Cable management - Cable tray systems and cable ladder systems [20]. In this case, the classification allows combining the tested products, i.e. various cables and fixing systems with the “P” classification, with the lower class applied to the whole cable system.

Cable systems used in rooms protected by fixed water fire-fighting equipment, as mentioned in §187 (4)[1], should be water-resistant. However, the type of tests to confirm this parameter has not been provided. In CNBOP-PIB’s practice, it was assumed that this condition is complied with where the cable used in a cable system successfully passes the test according to PN-EN 50200 [21] which uses water (Appendix E to the standard).

Still other requirements are imposed on electric cables and conduits mentioned in §187 (5)[1]. This is applicable to cables used in fire alarm system, emergency lighting and communication circuits. They should be characterised by the “PH” parameter applicable to the duration of the required operation. The PH class is confirmed by a test conducted according to PN-EN 50200. This test involves verifying whether the cable fixed with the indicated handles to a non-flammable base, when subject to an ignition source in the form of a torch producing a flame with a temperature of 840°C, manages to maintain circuit continuity. Figure 5 shows an example test.



Rycina 5. Przykładowy test wg PN-EN 50200 w CNBOP-PIB

Figure 5. Test according to PN-EN 50200 in CNBOP-PIB

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration..

Krajowa ocena techniczna dla kabli przeznaczonych do stosowania w systemach służących do ochrony przeciwpożarowej – poza omówionymi powyżej testami – może stawiać jeszcze wymóg pozytywnego wyniku badań według norm: PN-EN 60332-1-2, PN-EN 60332-3, PN-IEC 60331-21, PN-EN 61034-2, PN-EN 60754-1 (w przypadku kabli bezhalogenowych), PN-EN 60754-2 i PN-EN 50362. Norma PN-EN 50362 [22] dotyczy badania na klasę PH kabli o średnicach powyżej 20 mm. Norma ta nie została ujęta w wykazie norm w załączniku do rozporządzenia w sprawie warunków technicznych [1], pomimo że często takie kable są stosowane w obiekcie. Dodatkowo dla tych kabli nie przewiduje się testu z wodą, jak ma to miejsce w przypadku kabli o średnicy poniżej 20 mm. Obecnie trwają również prace nad nowelizacją normy klasyfikacyjnej EN 13501-3, która wprowadzi dodatkowe ograniczenie klasyfikacji PH dla kabli o przekroju żyły do 2,5 mm².

Wymagania pożarowe dla przewodów i kabli elektrycznych zostały zawarte również w innych przepisach. W rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie [23], w załączniku nr w punkcie 11 określono, że „[k]able, przewody oraz ich osłony zainstalowane wewnątrz tunelu lub stacji metra powinny być, co najmniej klasy reakcji na ogień B-s3, d0, a produkty ich rozkładu termicznego o kwasowości mniejszej niż pH 4,3”. Określona klasa reakcji na ogień dotyczy innych wyrobów budowlanych niż kable i przewody elektryczne, dla których obecnie funkcjonuje klasyfikacja odrębna. Zapis ten wymaga jak najszybszej korekty. Wskazana klasa może być wymagana np. dla osłon kablowych. Zapis ten w poprawnym brzmieniu powinien wskazywać klasę reakcji na ogień B2ca-s3, d0. Parametr kwasowości w obecnym kształcie zapisu jest błędny. Kwasowość definiuje się za pomocą klasy a1, a2 lub a3, przy czym ważna jest również konduktywność. Dodatkowo określenie, że pH ma być mniejsze niż 4,3 oznacza stosowanie kabli, których produkty rozkładu są bardzo agresywne, czyli w klasie a3, a jednocześnie nie dopuszcza się stosowania kabli o lepszych właściwościach (produkty

The national technical assessment for cables designed for use in fire protection systems – in addition to the tests described above – may also require the positive result of tests conducted according to the following standards: PN-EN 60332-1-2, PN-EN 60332-3, PN-IEC 60331-21, PN-EN 61034-2, PN-EN 60754-1 (for halogen-free cables), PN-EN 60754-2 and PN-EN 50362. The PN-EN 50362 standard [22] concerns the PH class testing of cables with diameters over 20 mm. This standard has not been included on the list of standards in the appendix to the Regulation on the technical conditions [1], although such cables are often used in civil structures. In addition, no water tests are provided for them, as is the case for cables with a diameter below 20 mm. There is work in progress on the amendment of the EN 13501-3 classification standard, which will introduce an additional limitation on the PH classification for cables with a conductor cross-sectional area of 2.5 mm².

The fire requirements for electric cables and conduits were also included in other regulations. Section 11 of the Appendix to the Regulation on the technical conditions to be met by civil structures of the metro and their location [23] provides that “[c]ables, conduits and their coverings installed inside a tunnel or metro station should have at least the B-s3, d0 reaction-to-fire performance class and their thermal decomposition products should have an acidity lower than pH 4.3. A specific reaction-to-fire performance class concerns other construction products than electric cables and conduits, for which a separate classification is currently in force. This provision should be corrected as soon as possible. The indicated class may be required e.g. for cable coverings. In its correct form, this provision should indicate the reaction-to-fire performance class B2ca-s3, d0. The acidity parameter is incorrect in its current form. Acidity is defined using the a1, a2 or a3 class and conductivity is also of importance. In addition, the provision that pH should be lower than 4.3 leads to the use of cables with highly aggressive decomposition products, i.e. a3, and does not allow the use of cables with better performance characteristics (less aggressive

spalania mniej agresywne). Stąd poprawnym zapisem byłoby „o kwasowości nie mniejszej niż pH 4,3”.

W rozporządzeniu w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich użytkowanie [24] znajdujemy dwa zapisy dotyczące wymagań pożarowych dla kabli i przewodów elektrycznych, tj.: „§320 przewody i kable umieszczone w obiektach inżynierskich powinny mieć cechę nierozprzestrzeniania ognia” oraz „§321 ust. 1c [u]rządzenia i instalacje stanowiące istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa wyposażenie tunelu powinny być wykonane w sposób zapewniający ich funkcjonowanie w warunkach pożaru przez wymagany czas”. W obu przypadkach nie sprecyzowano wymagań. W odniesieniu do §320 należy uznać, że w pojedynczy przewód powinien spełnić wymagania PN-EN 60332-1-2, a w wiązka kabli odpowiednie wymaganie z serii PN-EN 60332-3. Jeżeli chodzi o §321 ust. 1c, można wymóg ten rozpatrywać w kontekście potrzeby zapewnienia zasilania lub sterowania poprzez zespół kablowy i stawiać wymóg klasy „E” lub pojedynczy kabel z mocowaniami i stawiać wymóg klasy „PH” o odpowiednich czasach. W rozporządzeniu Komisji UE nr 1303/2014 [21] odkrytym kablom elektrycznym w tunelach kolejowych o długości ponad 1 km stawia się wymóg minimalnej klasy B2CA, s1a, a1 zgodnie z przywołaną powyżej normą klasyfikacyjną.

Zagrożenia i badania

Jak wynika z przeprowadzonej powyżej analizy przepisów, na płaszczyźnie wymagań pożarowych dla przewodów i kabli elektrycznych jest mało precyzyjnych zapisów. Przepisy nie są spójne oraz zawierają błędy. Przy projektowaniu bezpieczeństwa pożarowego obiektów w kwestii kabli elektrycznych należy kierować się nie tylko zapisami przepisów, ale również wiedzą techniczną lub podejściem inżynierskim. W celu doboru odpowiedniego oprzewodowania warto zapoznać się z zagrożeniami, jakie one powodują oraz metodami badawczymi, które w lepszy sposób zobrazują właściwości palności kabli i przewodów. Z punktu widzenia początkowego okresu rozwoju pożaru najistotniejsza jest kwestia określenia reakcji na ogień, jak to ma to miejsce w przypadku innych materiałów budowlanych oraz cech dodatkowych, takich jak: dymotwórczość, kwasowość i toksyczność. Parametry te powinien mieć zdefiniowany każdy przewód czy kabel elektryczny wprowadzany do obrotu. Poniżej przedstawiono zagrożenia pożarowe oraz metody badawcze określające stopień zagrożenia, które będą składać się na pełną klasyfikację reakcji na ogień wg PN-EN 13501-6 tj.:

- PN-EN 60332-1-2;
- PN-EN 50399;
- PN-EN 61034-2;
- PN-EN 60754-2;

oraz inne ważne pod kątem oceny zagrożeń powodowanych przez kable w czasie pożaru.

Najważniejszym zagrożeniem z punktu widzenia ewakuacji ludzi, jakie występuje podczas pożaru kabli i przewodów elektrycznych, jest wydzielanie toksycznych gazów oraz dymów ograniczających widoczność. Poza badaniem zawartości ha-

incineration products). Therefore, the correct provision would be “a pH no lower than 4.3.”

The Regulation on the technical conditions to be met by road civil engineering structures and their location [24] features two provisions involving fire requirements for electric cables and conduits, i.e.: “§320 cables and conduits located in engineering structures should prevent fire spreading” and “§321 (1c) [d]evices and systems constituting important safety equipment of a tunnel should be fitted in a manner which guarantees that they remain operational during a fire for a required period of time.” In both cases no requirements were specified. With regard to §320, it should be concluded that a single conduit should comply with the requirements of PN-EN 60332-1-2, and the cable bundle – with the relevant requirement of the PN-EN 60332-3 series. As for §321 (1c), this requirement may be seen in the context of the need to provide power or control by a cable system (with the “E” class requirement) or by a single cable with fixings (with the “PH” class requirement) for appropriate periods of time. Pursuant to Regulation (EU) No 1303/2014 [21] exposed electric cables in railway tunnels of more than 1 km in length must fulfil as a minimum the requirements of classification B2CA, s1a, a1, as per the above-mentioned classification standard.

Hazards and tests

On the basis of the above analysis of the regulations, it can be concluded that there is a shortage of accurate provisions with regard to the fire requirements for electric cables and conduits. The regulations are inconsistent and contain errors. When designing the fire safety of civil structures in the aspect of electric cables, one should not only follow the content of the regulations, but also draw on one’s technical expertise and apply an engineering approach. To select the suitable wiring, the engineer should consider their potential hazards and the test methods which can better identify the flammability properties of cables and conduits. In the context of the early period of development of a fire, the most important issue is to define reaction-to-fire performance, as with other construction materials, and such additional properties as smoke density, acidity and toxicity. These parameters should be defined for every electric cable or conduit placed on the market. Below is a presentation of the fire hazards and test methods to determine the hazard level, which will comprise the full classification of reaction-to-fire performance according to PN-EN 13501-6, i.e.:

- PN-EN 60332-1-2;
- PN-EN 50399;
- PN-EN 61034-2;
- PN-EN 60754-2;

and other having importance for the assessment of hazards caused by cables during a fire.

In the context of the evacuation of people, the most important hazard during a fire of electric cables and conduits is the release of toxic gas and smoke which hinders visibility. Barring the test for hydrogen halide content, no other test methods are

logenowodorów nie wskazuje się innych metod badawczych w zakresie toksyczności dla kabli elektrycznych³. Badanie to wykonuje się wg PN-EN 60754-1 [25] i polega ono na spalaniu materiału palnego pobranego z odcinka kabla i określeniu zawartości halogenowodorów w postaci kwasu halogenowego w mg/g. Przyjęto się na rynku, że kable bezhalogenowe o niskiej emisyjności dymów nie są trujące [15]. Wydzielanie dużych ilości dymu przez kabel stanowi poważne zagrożenie podczas ewakuacji. Badanie tego zjawiska wykonuje się wg PN-EN 50399 [26] oraz dodatkowo PN-EN 61034-2. Badanie wg PN-EN 61034-2 polega na umieszczeniu kabli o długości 1 m nad źródłem ognia (mieszanina alkoholi) i zmierzeniu spadku przepuszczalności światła w komorze testowej o wymiarach 3 × 3 × 3 m. To proste badanie dobrze ukazuje, jak dużo dymu może wydzielić niewielka ilość kabli. W tabeli 1 poniżej zamieszczone zostały przykładowe wyniki minimalnej przepuszczalności światła dla wybranych kabli, a na rycinie 6 przykładowe badanie.

Tabela 1. Wyniki minimalnej przepuszczalności światła w badaniu wg PN-EN 61034-2

Table 1. The results of the minimum light transmission in the test according to PN-EN 61034-2

Rodzaj kabla / Cable type	Min. przepuszczalność światła / Min. light transmission [%]
HDGs 2 × 4,0 / HDGs 2 × 4.0	86,02 / 86.02
H2XH-J 4 × 4,0 / H2XH-J 4 × 4.0	85,7 / 85.7
YnKYžo 4 × 1,5 / YnKYžo 4 × 1.5	7,18 / 7.18
YnKSYekw 7 × 2 × 0,8 / YnKSYekw 7 × 2 × 0.8	16,5 / 16.5
YKXS	3,57 / 3.57

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration..



Rycina 6. Przykładowe badanie wg PN-EN 61034-2 w CNBOP-PIB

Figure 6. Example test according to PN-EN 61034-2 in CNBOP-PIB

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wcześniej był omawiany parametr rozprzestrzeniania ognia, który jest również składową reakcji na ogień. Jest on jednak inaczej oznaczany, niż ma to miejsce w przypadku serii norm

indicated for the toxicity of electric cables³. This test, performed according to PN-EN 60754-1 [25], involves the incineration of a flammable material collected from a cable section and the determination of hydrogen halide content in the form of halogen acid in mg/g. The general consensus on the market is that halogen-free cables with low smoke emission are not toxic [15]. The release of large amounts of smoke by a cable constitutes a serious hazard during evacuation. This phenomenon is tested according to PN-EN 50399 [26] and, additionally, PN-EN 61034-2. The test according to PN-EN 61034-2 involves placing 1 m long cables over an ignition source (a mixture of alcohols) and measuring the decrease in light transmission in a 3 × 3 × 3 m test chamber. This simple test provides a clear view of how much smoke can be produced by a small section of a cable. Table 1 below provides example results for minimum light transmission in selected cables, and Figure 6 presents an example test.

The parameter discussed previously was the spread of fire, which is also a component of reaction-to-fire performance. However, it is determined in a different manner than in the case

³ Niektóre ośrodki badawcze wykonują badania toksyczności materiałów, z których wykonane są kable i przewody elektryczne wg ISO 19700. Obie metody nie są wskazywane przy klasyfikacji reakcji na ogień.

³ Some testing centres conduct toxicity tests of materials used for the production of electric cables and conduits as per ISO 19700. Neither method is indicated in the reaction-to-fire performance classification.

PN-EN 60332-3. Znajomość klasy reakcji na ogień dostarcza nam informacji, jak szybko materiał ulega zapaleniu, jak szybko się spala, ile wydziela ciepła podczas spalania oraz jak bardzo rozprzestrzenia ogień. Badanie tych cech wykonuje się wg PN-EN 50399 [26]. W metodzie tej do odpowiedniej ilości kabli o długości 3,5 m ułożonych w pionową wiązkę w komorze testowej o wymiarach $1 \times 2 \times 4$ m przykłada się źródło ognia w postaci palnika o mocy 20,5 kW lub 30 kW (w zależności od pożądanej klasy). Podczas badania analizuje się ilość zużytego tlenu oraz produkcję CO_2 i po odpowiednim przeliczeniu uzyskuje się wyniki (m.in. FIGRA, peak HRR tak jak ma to miejsce w przypadku badań SBI wg PN-EN 13823). Dodatkowo analiza osłabienia światła w kanale odciągowym pozwala na otrzymanie danych na temat dymotwórczości. Na podstawie takich samych parametrów określana jest klasa reakcji na ogień innych materiałów budowlanych. Po zakończeniu badania dokonuje się pomiaru wysokości zniszczenia kabli charakteryzującej rozprzestrzenianie ognia. Pomimo że badanie co do zasady jest bardzo podobne do badania rozprzestrzeniania płomienia przez wiązkę kabli wg serii PN-EN 60332-3, to przekazuje znacznie więcej informacji na temat badanego wyrobu. Daje również podstawy do porównań z innymi materiałami budowlanymi. Ze tego względu metoda ta jest rekomendowana obecnie jako podstawowe badanie przy określaniu reakcji na ogień kabli elektrycznych. Na rycinach 7 i 8 pokazano, jak dużo dymu może wydzielać się podczas badania oraz jak bardzo rozprzestrzenia się płomień po wiązce kabli.

of the PN-EN 60332-3 series of standards. Knowing the reaction-to-fire performance class means knowing how fast a material ignites and how fast it burns, how much heat it releases during incineration and how much it contributes to the spread of fire. These properties are tested according to PN-EN 50399 [26]. In this method, an ignition source in the form of a torch with a power of 20.5 kW or 30 kW (depending on the desired class) is applied to an appropriate amount of cable material with a length of 3.5 m laid in a vertical bundle in a $1 \times 2 \times 4$ m test chamber. The test involves the analysis of the amount of oxygen consumed and CO_2 generation, after which calculations are performed to obtain the results (including FIGRA and peak HRR, as in the case of SBI tests according to PN-EN 13823). In addition, an analysis of the decrease in light transmission of the extraction duct allows obtaining data on smoke density. The reaction-to-fire performance of other construction materials is determined using the same parameters. After the test is completed, measurements of the height of and damage to cables characterising the spread of fire are performed. Although the test is in principle very similar to the test of flame propagation on cable bundles according to the PN-EN 60332-3 series, it provides much more information on the tested product. It also provides a basis for comparisons with other construction materials. Due to this, this method is currently recommended as the primary test to determine the reaction-to-fire performance of electric cables. Figures 7 and 8 show how much smoke can be released during the test and how much the flame propagates on the cable bundle.



Rycina 7. Wydzielanie dymu przez kabel YnKYżo podczas badania wg PN-EN 50399

Figure 7. Release of smoke by the cable YnKYżo during the test according to EN 50399

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Warto zwrócić uwagę na fakt, że kable elektryczne tzw. ogniodporne, stosowane w systemach ochrony przeciwpożarowej, niekoniecznie muszą mieć wysoką klasę reakcji na ogień, co pokazały m.in. testy przeprowadzone w CNBOP-PIB. Badaniu wg PN-EN poddano kable z grupy HDGs PH 90. Poniżej w tabeli 2 zostały zestawione wyniki dla dwóch rodzajów kabli HDGs.

It should be pointed out that electric cables described as fire-resistant cables which are used in fire protection systems do not necessarily have a high class of reaction-to-fire performance, as determined e.g. by tests conducted by CNBOP-PIB. The test according to the PN-EN standard was performed on HDGs PH 90 cables. The table below lists the results for two types of HDGs cables.



Rycina 8. Spalanie kabla bezhalogenowego wykonanego z polimeru, 0,6/1 kV podczas badania wg PN-EN 50399

Figure 8. Combustion of a halogen-free cable made from polymer, 0.6 / 1 kV when tested according to DIN EN 50399

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Tabela 2. Wyniki otrzymane w badaniu wg PN-EN 50399

Table 2. The results obtained in the test according to PN-EN 50399

Rodzaj kabla / Cable type	FIGRA [W/s]	Peak HRR [kW]	THR ₁₂₀₀ [MJ]	FS [m]	KLASA / CLASS
HDGszo 7 × 1,0 / HDGszo 7 × 1.0	142,5 / 142.5	37,4 / 37.4	16,7 / 16.7	2,1 / 2.1	D _{ca} s1
HDGs 2 × 4,0 / HDGs 2 × 4.0	90,9 / 90.9	16,2 / 16.2	11,8 / 11.8	0,9 / 0.9	B2 _{ca} s1

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Określenie klasy reakcji na ogień tego rodzaju kabli jest o tyle istotne, że często w pomieszczeniu nadzoru znajduje się bardzo duża ilość tych kabli. Zdarza się, że trasy kablowe przebiegają w przestrzeni podsufitowej i mogą stanowić poważne zagrożenie w czasie pożaru. Przykład nagromadzenia dużej ilości kabli ognioodpornych pokazano na rycinie nr 9.

Determining the reaction-to-fire performance class of this type of cable is important because control rooms usually feature a very large amount of such cables. There are cases where cable routes run in the sub-ceiling space and can pose a significant risk during fire. Figure 9 presents an example of the accumulation of a large number of fire-resistant cables.



Rycina 9. Przykład nagromadzenia dużej ilości kabli ognioodpornych w pomieszczeniu

Figure 9. An example of the accumulation of a large number of fire-resistant cables in a room

Źródło: <http://www.denios.pl/>.

Source: <http://www.denios.pl/>.

OCENA ZGODNOŚCI

Na kolejnych rycinach 10 i 11 pokazane są skutki pożaru, który rozprzestrzenił się po wiązkach kabli elektrycznych o słabych właściwościach w zakresie reakcji na ogień.

The following Figures 10 and 11 show the effects of a fire which has spread along electric cable bundles with poor reaction-to-fire performance properties.



Rycina 10. Skutki pożaru wiązek kabli elektrycznych
Figure 10. The impact of fire on electric cable bundles

Źródło: Materiały ZEPAK.

Source: ZEPAK materials.



Rycina 11. Skutki pożaru w nastawni w elektrowni
Figure 11. The effects of a fire in the power plant's control room

Źródło: Materiały ZEPAK.

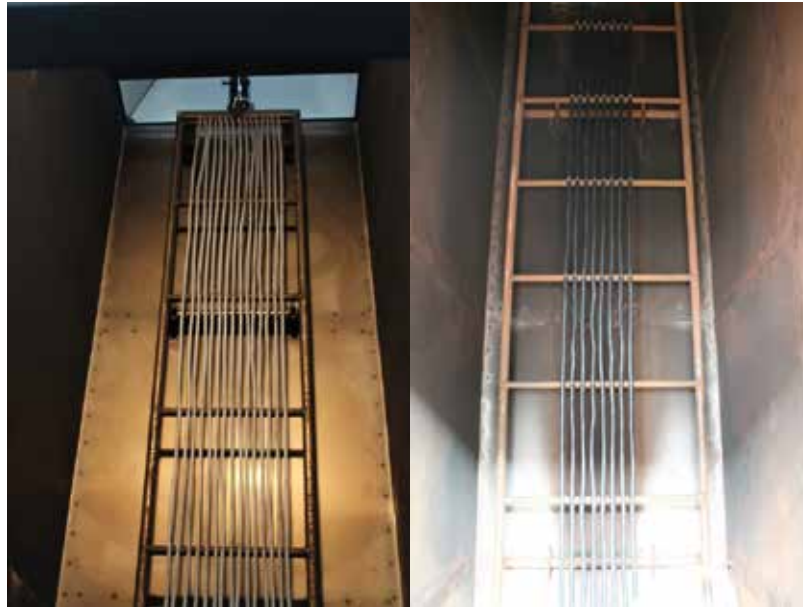
Source: ZEPAK materials.

Ostatnim badaniem wartym uwagi, które jest wymagane do pełnej klasyfikacji reakcji na ogień wg PN-EN 13501-6, jest badanie kwasowości i konduktywności gazów powstałych ze spalania kabli elektrycznych. Badanie wykonuje się wg PN-EN 60754-2 [25] i polega na spalaniu części niemetalowych próbek kabla, a następnie określeniu pH i konduktywności wody po przepuszczeniu przez nią powstałych gazów ze spalania tej próbki. Wiedza na temat, jaką kwasowość posiada dany przewód lub kabel jest niezbędna w momencie projektowania oprzewodowania w pomieszczeniach, w których znajdują się elementy metalowe wrażliwe na korozję. W przypadku pożaru kabli wytwarzających agresywne środowisko wzrastać mogą starty pożarowe. Związane jest to z możliwą koniecznością wymiany elementów metalowych lub uszkodzenia urządzeń, pomimo że nie były one poddane bezpośredniemu działaniu ognia. Na rycinie 12 pokazana

The last notable test which is required to perform a complete reaction-to-fire performance classification according to PN-EN 13501-6 involves the study of acidity and conductivity of the gases produced during the incineration of electric cables. This test is performed according to PN-EN 60754-2 [25] and involves the incineration of a part of the non-metallic samples of the cable, followed by the determination of the pH and conductivity of water after the gases generated from the incineration of the sample are passed through it. Knowledge of the acidity of a given cable or conduit is necessary in the process of designing the wiring in rooms containing corrosion-sensitive metal elements. The combustion of cables which create an aggressive environment may lead to increased fire damage. This is connected with the potential necessity to replace the metal elements or damaged devices, even when they have not

jest komora badawcza przed rozpoczęciem i po wykonaniu kilku testów. Jak widać, wystąpiła znaczna korozja, pomimo wykonania komory z blachy kwasoodpornej.

been directly affected by fire. Figure 12 presents the test chamber before and after several tests have been performed inside. Considerable corrosion is visible, even though the chamber is made of acid-proof steel.



Rycina 12. Komora badawcza przed spalaniem kabli elektrycznych i spaleniu kilku próbek
Figure 12. A test chamber before burning electrical cables and after burning several samples

Source: Materiały ZEPAK.

Source: ZEPAK materials.

Wnioski

Przy doborze przewodów i kabli elektrycznych w budynku, oprócz aspektów użytkowych w postaci funkcji elektrycznych, należy zwrócić również uwagę na zagrożenia pożarowe, jakie stanowi duże nagromadzenie kabli w wiązkach kablowych. Jak wynika z przeprowadzonej analizy, nie wszystkie kwestie dotyczące wymagań dla kabli są uregulowane przepisami prawa, a w pewnych momentach są nawet uregulowane niewłaściwie.

W związku z powyższym projektanci i rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych powinni stosować własną wiedzę techniczną na temat kabli, tym bardziej, że przepisy określają dla tych wyrobów tylko minimalne wymagania. Pomimo funkcjonowania od ponad roku (dwóch przy założeniu okresu przejściowego) wymagań CPR w zakresie określenia reakcji na ogień kabli elektrycznych, przepisy dotyczące zastosowania poszczególnych klas nie zostały opracowane, przez co nie ma jasnego przekazu, jakie wymagania należy stawiać kablom elektrycznym.

Oprócz znajomości obowiązujących wymagań dla kabli elektrycznych i światłowodów, sposobu ich badań oraz zagrożeń, jakie niesie za sobą okablowanie w budynku, przy doborze okablowania potrzebna jest także wiedza techniczna.

Należałoby przyjąć, aby przynajmniej w obszarze dróg ewakuacji, stosowane były kable elektryczne i światłowody o wyższych klasach reakcji na ogień.

Conclusions

In selecting the electric cables and conduits for a building, in addition to utility aspects such as their electric functions, one should also take into account the fire hazard posed by a large accumulation of cables in cable bundles. The analysis demonstrates that the specification of requirements for cables in the regulations is incomplete and at times even incorrect.

Due to this, designers and fire protection experts should rely on their own technical knowledge, especially because the regulations only specify the minimum requirements for such products. Despite the fact that the CPR requirements for determining the reaction-to-fire performance of electric cables have been in force for more than a year (two years if we take into account the transitional period), the regulations concerning the application of individual classes have not been prepared. As a result, there is no clear specification as to what requirements should apply to electric cables.

In addition to the knowledge of the applicable requirements for electric cables and optical fibre, the testing methods and hazards connected with wiring in buildings, technical knowledge is also essential in selecting cables. An assumption can be made that, at least in the area of escape routes, electric cables and optical fibre with a higher reaction-to-fire performance class should be used.

Literatura / Literature

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 kwietnia 2002 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie (Dz.U. 2002 Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
- [2] Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) NR 305/2011 z dnia 9 marca 2011 r. ustanawiające zharmonizowane warunki wprowadzania do obrotu wyrobów budowlanych i uchylające dyrektywę Rady 89/106/EWG.
- [3] Decyzja Komisji z dnia 27 października 2006 r. zmieniająca decyzję Komisji 2000/147/WE wykonującą dyrektywę Rady 89/106/EWG w odniesieniu do klasyfikacji odporności wyrobów budowlanych na działanie ognia (2006/751/WE).
- [4] PN-EN 50575:2015-03 Kable i przewody elektroenergetyczne, sterownicze i telekomunikacyjne – Kable i przewody do zastosowań ogólnych w obiektach budowlanych o określonej klasie odporności pożarowej.
- [5] PN-EN 13501-6:2014-04 Klasyfikacja ogniowa wyrobów budowlanych i elementów budynków – Część 6: Klasyfikacja na podstawie wyników badań reakcji na ogień kabli elektrycznych.
- [6] Rozporządzeniem Ministra Infrastruktury i Budownictwa z dnia 17 listopada 2016 r. w sprawie sposobu deklarowania właściwości użytkowych wyrobów budowlanych oraz sposobu znakowania ich znakiem budowlanym (Dz.U. 2016, poz. 1966 z późn. zm.).
- [7] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 20 czerwca 2007 r. w sprawie wykazu wyrobów służących zapewnieniu bezpieczeństwa publicznego lub ochronie zdrowia i życia oraz mienia, a także zasad wydawania dopuszczenia tych wyrobów do użytkowania (Dz. U. Nr 143, poz. 1002 z późn. zm.).
- [8] Ustawa z dnia 16 kwietnia 2004 r. o wyrobach budowlanych (Dz. U. 2004 Nr 92, poz. 881 z późn. zm.).
- [9] Mroczo G., *Znaczenie aprobat technicznych dla bezpieczeństwa pożarowego obiektów budowlanych*, BiTP Issue 4, 2011.
- [10] PN-IEC 60364-5-52:2002 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Oprzewodowanie.
- [11] Seria PN-EN 60332-1 – Części 1–3: Badania palności kabli przewodów elektrycznych oraz światłowodowych. Sprawdzanie odporności pojedynczego izolowanego przewodu lub kabla na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia.
- [12] Seria PN-EN 60332-3 – Części 10, 21–25: Badania palności kabli i przewodów elektrycznych oraz światłowodowych. Sprawdzenie odporności na pionowe rozprzestrzenianie się płomienia wzdłuż pionowo zamontowanych wiązek kabli lub przewodów.
- [13] PN-HD 60364-4-42:2011 Instalacje elektryczne niskiego napięcia – Części 4–42: Ochrona dla zapewnienia bezpieczeństwa Ochrona przed skutkami oddziaływania ciepłego.
- [14] PN-HD 60364-5-51:2011 Instalacje elektryczne w obiektach budowlanych – Części 5–51: Dobór i montaż wyposażenia elektrycznego – Postanowienia ogólne.
- [15] PN-EN 61034-2:2010 Pomiar gęstości dymów wydzielanych przez palące się przewody lub kable w określonych warunkach – Część 2: Metoda badania i wymagania.
- [16] IEC 60331-1:2009 Tests for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 1: Test method for fire with shock at a temperature of at least 830°C for cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV and with an overall diameter exceeding 20 mm.
- [17] IEC 60331-21:1999 Tests for electric cables under fire conditions – Circuit integrity – Part 21: Procedures and requirements – Cables of rated voltage up to and including 0,6/1,0 kV.
- [18] Zboina J., Mroczo G., *Dostawa energii elektrycznej do urządzeń przeciwpożarowych*, BiTP Issue 3, 2013.
- [19] PN-EN 50577:2016-02 Kable i przewody elektryczne – Badanie odporności na ogień kabli i przewodów bez ochrony specjalnej (klasyfikacja P).
- [20] PN-EN 61537:2007 Prowadzenie przewodów – Systemy korytek i systemy drabinek instalacyjnych.
- [21] PN-EN 50200:2016-01 Metoda badania odporności na ogień cienkich przewodów i kabli bez ochrony specjalnej, stosowanych w obwodach zabezpieczających.
- [22] PN-EN 50362:2003 Metoda badania palności przewodów i kabli energetycznych i sygnalizacyjnych o większych średnicach, bez ochrony specjalnej, stosowanych w obwodach zabezpieczających.
- [23] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 144, poz. 859).
- [24] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 200 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. Nr 63, poz. 735 z późn. zm.).
- [25] PN-EN 60754-1:2014-11 Badanie gazów wydzielających się podczas spalania materiałów pochodzących z kabli i przewodów – Część 1: Oznaczanie zawartości halogenowodorów.
- [26] PN-EN 50399:2011 Wspólne metody badania palności przewodów i kabli – Pomiar wydzielania ciepła i wytwarzania dymu przez kable podczas sprawdzania rozprzestrzeniania się płomienia – Aparatura probiercza, procedury, wyniki.
- [27] Bitner, Kable bezhalogenowe, ognioodporne i uniepalnione, 2011.
- [28] PN-EN 60754-2:2014-11 Badanie gazów wydzielających się podczas spalania materiałów pobranych z kabli i przewodów – Część 2: Oznaczanie kwasowości (przez pomiar pH) i konduktywności.

MŁ. BRYG. MGR INŻ. WOJCIECH KLAPSA – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie (2004) i Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie (2006) Wydziału Chemii. Służbę rozpoczął w Jednostce Ratowniczo-Gaśniczej KM w Warszawie, a następnie podjął służbę w Komendzie Wojewódzkiej PSP w Warszawie w wydziale kontrolno-rozpoznawczym. Obecnie pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodzi Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości na stanowisku zastępcy kierownika. Autor lub współautor artykułów o tematyce bezpieczeństwa pożarowego oraz właściwości palnych materiałów budowlanych. W CNBOP-PIB zajmuje się tematyką ekspertyz technicznych budynków, opinii sądowych w zakresie ustalania przyczyn pożarów oraz badaniami w zakresie reakcji na ogień wyrobów budowlanych, a także wyznaczaniem parametrów wybuchowych substancji palnych. Prelegent na konferencjach krajowych i zagranicznych, a także wykładowca podczas ćwiczeń oraz warsztatów i treningów na szkoleniach i kursach.

JUNIOR BRIG. WOJCIECH KLAPSA, M.SC. ENG. – graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw (2004) and the Military University of Technology in Warsaw (2006) in chemistry. He began his service in the Firefighting and Rescue Unit of the municipal fire brigade in Warsaw and then took up work in the Inspection and Identification Department of the Regional Headquarters of the State Fire Service in Warsaw. He is currently employed as the Deputy Head of the Combustion Processes and Explosion Laboratory of CNBOP-BIP in Józefów. Author or co-author of articles on the subject of fire safety and properties of flammable construction materials. His work at CNBOP-BIP focuses on technological evaluations of buildings, court opinions on the causes of fires and tests of reaction-to-fire performance of construction products, as well as the determination of explosive parameters of flammable substances. He has spoken at national and international conferences and worked as a lecturer teaching classes and conducting training sessions as part of various courses.

BRYG. MGR INŻ. DANIEL MAŁOZIĘĆ – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie (1990). Obecnie pełni funkcję kierownika w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w CNBOP-PIB. Autor licznych artykułów o tematyce bezpieczeństwa pożarowego, właściwości palnych materiałów budowlanych oraz wielu ekspertyz związanych z ustalaniem przyczyn pożarów.

BRIG. DANIEL MAŁOZIĘĆ, M.SC. ENG. – graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw (1990). He currently works as the Head of the Combustion Processes and Explosion Laboratory of CNBOP-PIB. He has written numerous articles on fire safety, the properties of flammable building materials and has prepared a number of evaluations determining the causes of fires.

MGR INŻ. ALINA WOLAŃSKA – od 2014 absolwentka Wydziału Inżynierii Materiałowej i Informatyki Przemysłowej na Akademii Górniczo-Hutniczej w Krakowie. Obecnie pracuje jako specjalista w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpowodzi – PIB w Józefowie. Specjalizuje się w badaniach reakcji na ogień materiałów budowlanych.

ALINA WOLAŃSKA, M.SC. ENG. – graduated from the Faculty of Metals Engineering and Industrial Computer Science at the AGH University of Science and Technology in Kraków in 2014. She is currently employed as a Specialist at the Combustion Processes and Explosion Laboratory of CNBOP-PIB in Józefów. She specialises in reaction-to-fire performance tests of construction materials.



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.

mgr inż. Łukasz Pastuszka^{a)*}, mł. bryg. Marcin Płotica^{b)}^{a)}Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpowodziowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute^{b)}Komenda Miejska Państwowej Straży Pożarnej w Łodzi / District Headquarters of the State Fire Service in Łódź

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

Zasady bezpiecznego prowadzenia działań ratowniczych podczas katastrofy budowlanej

Safety Principles for Conducting Rescue Operations in the Case of Structural Failure

Принципы безопасного ведения спасательных работ во время строительной катастрофы

ABSTRAKT

Cel: W artykule omówiono podstawowe zasady bezpieczeństwa działań ratowniczych podczas katastrof budowlanych. Dotyczą one bezpośrednich działań poszukiwawczo-ratowniczych na gruzowiskach i w pobliżu niestabilnych konstrukcji budowlanych. W treści pracy znalazły się opisy zarówno technicznych, jak i proceduralnych rozwiązań wpływających na bezpieczeństwo ratowników podczas pracy na gruzowisku. Zadaniem artykułu jest także przypomnienie o podstawowych elementach bezpieczeństwa, takich jak środki ochrony osobistej. Praca uwzględnia również zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa misji międzynarodowych USAR POLAND, lecz jedynie w aspekcie pracy na gruzowisku.

Wprowadzenie: W wielu publikacjach dotyczących taktyki działań gaśniczych i ratowniczych podkreśla się rolę bezpieczeństwa ratowników – czynnika istotnego dla wszystkich uczestników działań. Ze względu na konieczność połączenia wielu specjalizacji, umiejętności inżynierskich oraz znajomości szczególnych technik ratowniczych działania podczas katastrof budowlanych są dla ratowników szczególnie wymagające. Specjalistyczne grupy poszukiwawczo-ratownicze od wielu lat wprowadzają i rozwijają metody zabezpieczenia działań podczas pracy na gruzowiskach. Niektóre z tych metod są łatwo dostępne i nieskomplikowane, natomiast inne wymagają specjalistycznego sprzętu, wiedzy oraz doświadczenia. Bezpieczeństwo działań podczas katastrof budowlanych jest stale rozwijane, wraz z postępem wiedzy, doświadczenia oraz technologii.

Wnioski: Rozpoznanie jest pierwszą i najważniejszą fazą akcji. Sama katastrofa budowlana niesie ryzyko wtórnych zagrożeń dla osób poszkodowanych oraz dla ratowników. Może także powodować narażenie na czynniki szkodliwe i uciążliwe. Aspekty, na jakie należy zwrócić uwagę, to:

- niestabilne elementy konstrukcji budowlanych,
- możliwość całkowitego zawalenia się budynku,
- zagrożenia powodowane przez media (gaz ziemny, wodę, napięcie elektryczne),
- zagrożenia powodowane przez zbiorniki z gazem pod ciśnieniem (np. butle LPG),
- zagrożenia pożarowe,
- zagrożenia biologiczne,
- hałas, temperatura, wilgotność,
- oświetlenie miejsca działań.

W związku z powyższym rozpoznanie zagrożeń podczas katastrofy budowlanej nie jest etapem akcji, lecz czynnością ciągłą, trwającą aż do zakończenia działań lub eliminacji możliwości powstania tych zagrożeń.

Znaczenie dla praktyki: Prowadzenie działań podczas katastrof budowlanych wiąże się ze szczególnymi zagrożeniami. System szkolenia w tej dziedzinie jest stosunkowo młody. W artykule wskazano elementy determinujące bezpieczeństwo ratowników oraz omówiono system bezpieczeństwa pracy.

Słowa kluczowe: katastrofa budowlana, zasady bezpieczeństwa działań, grupa poszukiwawczo-ratownicza

Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 20.11.2018; Zrecenzowany: 10.12.2018; Opublikowany: 20.12.2018;

Identyfikatory ORCID autorów: Ł. Pastuszka – 0000-0001-8382-2584; M. Płotica – 0000-0003-3011-0529;

Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu;

Proszę cytować: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 202–212, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.12>;

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

ABSTRACT

Aim: The article indicates the basic principles for conducting rescue operations in the case of structural collapse. The focus of the article includes operations on rubble sites and nearby unstable constructions. It describes technical safety solutions and procedural approaches which have a significant

influence on rescuer safety. It also looks at basic safety elements, such as personal protective equipment. The article discusses the international missions of Urban Search And Rescue Poland, but only in relation to its work on rubble sites.

Introduction: Many publications covering operational tactics and techniques emphasise the role of rescuer safety as a factor of fundamental importance for all operation participants. Due to the necessity of having many areas of expertise and engineering skills, rescuers deployed to structural failures are required to have extensive knowledge and use specialised rescue techniques. For many years, search and rescue teams have introduced and developed methods of providing safe structural collapse response operations. Some of those methods are easily accessible and uncomplicated, while other require specialised equipment, knowledge and experience. The safety of operations during structural failures is constantly improved as knowledge and technology develop.

Conclusions: Reconnaissance is known as the first and the most important stage of the operation. Structural collapse creates the risk of exposure to secondary threats, and also to harmful and burdensome factors. The aspects which should be considered include:

- unstable elements of construction,
- possibility of total collapse,
- threats caused by utilities (gas, water, electricity),
- threats caused by pressurised gas containers (e.g. LPG containers),
- risk of fire,
- biological hazards,
- noise, temperature, humidity,
- lighting

Due to the above, recognising threats during a structural failure is not a stage of the operation but a continuous activity until threats are eliminated or the operation is completed.

Relevance in practice: Structural collapse response operations involve specific threats. A structured training system in this field is something relatively new. The article indicates the basic elements determining the safety of rescuers and discusses the work safety system.

Keywords: structural failure, operational safety principles, search and rescue team.

Type of article: review article

Received: 20.11.2018; Reviewed: 10.12.2018; Accepted: 20.12.2018;

Authors' ORCID IDs: Ł. Pastuszka – 0000-0001-8382-2584; M. Płotica – 0000-0003-3011-0529;

The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BITP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 202–212, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.12>;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: В статье рассматриваются основные принципы обеспечения безопасности проведения спасательных работ во время строительных катастроф. Они касаются прямых поисково-спасательных работ на обломках и вблизи неустойчивых строительных конструкций. В содержание работы включены описания как технических, так и процедурных решений, влияющих на безопасность спасателей при работе на обломках. Задачей статьи также является напоминание об основных элементах безопасности, таких как средства индивидуальной защиты. Работа также включает вопросы, связанные с безопасностью миссии международной Городской поисково-спасательной службы (USAR POLAND), но в аспекте проведения работ на развалинах.

Введение: Во многих публикациях, касающихся тактики противопожарной и спасательной деятельности, подчеркивается роль фактора безопасности спасателей, касающегося всех участников, спасательной операции. В связи с необходимостью использования представителей многих специальностей и применения различных инженерных навыков, строительные катастрофы требуют от спасателей особых спасательных навыков и методов. Специализированные поисково-спасательные группы уже много лет внедряют и разрабатывают методы обеспечения безопасности во время проведения работ на обломках. Некоторые из этих методов легко доступны и просты, в то время как другие требуют специального оборудования, знаний и опыта. Система безопасности действий во время строительных катастроф постоянно развивается, наряду с развитием знаний, опыта и технологий.

Выводы: распознавание является первым и наиболее важным этапом проведения мероприятий. Сама строительная катастрофа несет риск вторичных угроз пострадавшим и спасателям. Она может также вызвать воздействие вредных и обременительных факторов. Следует обратить внимание на следующие аспекты:

- нестабильные элементы строительных конструкций,
- возможность полного обрушения здания,
- опасности, вызванные средой (природный газ, вода, электрическое напряжение),
- опасности, вызванные газовыми баллонами под давлением (например, баллоны со сжиженным газом),
- пожароопасность,
- биологические опасности,
- шум, температура, влажность,
- освещение места действия.

В связи с вышеизложенным, распознавание опасностей во время строительной катастрофы является не стадией действия, а непрерывной деятельностью, продолжающейся до конца ведения работ или устранения возможности возникновения этих угроз.

Значение для практики: действия, применяемые во время устранения строительных катастроф сопряжены с особыми рисками. Система обучения в этой области относительно молода. В статье указаны элементы, определяющие безопасность спасателей, а также рассмотрена система безопасности труда.

Ключевые слова: строительная катастрофа, правила безопасности, поисково-спасательная группа

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 20.11.2018; Рецензирована: 10.12.2018; Одобрена: 20.12.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: Ł. Pastuszka – 0000-0001-8382-2584; M. Płotica – 0000-0003-3011-0529;

Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 52 Issue 4, 2018, pp. 202–212, <https://dx.doi.org/10.12845/bitp.52.4.2018.12>;

Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>).

Wprowadzenie

Akcje poszukiwawczo-ratownicze to jedne z najtrudniejszych oraz najbardziej niebezpiecznych działań prowadzonych przez Państwową Straż Pożarną oraz podmioty współdziałające w ramach Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego. Wymagają one połączenia wielu dziedzin ratownictwa oraz wykorzystania technik znanych wąskiej grupie wyspecjalizowanych ratowników. Bezpieczeństwo ratowników jest zależne nie tylko od ich wykwalifikowania, ale także, w znacznej mierze, od zaistniałej sytuacji, która w trakcie działań zmienia się dynamicznie i często nieprzewidywalnie.

Zagrożenia, z jakimi można się spotkać podczas działań poszukiwawczo-ratowniczych, dotyczą głównie:

- zniszczenia budynków lub ich części,
- upadku niestabilnych części budynków lub elementów konstrukcyjnych,
- eksplozji,
- braku możliwości dokładnego zbadania struktury budynku,
- narażenia na materiały niebezpieczne chemicznie lub biologicznie,
- porażenia prądem elektrycznym,
- upadku bądź urazu podczas poruszania się po gruzach,
- narażenia na dym, kurz,
- narażenia na nadmierny hałas,
- prowadzenia działań w ciasnych przestrzeniach,
- deficytu tlenu w atmosferze,
- wstrząsów wtórnych.

Dlatego też działania takie wymagają szczegółowego planowania i przygotowania, zarówno ratowników, sprzętu, jak i rozwiązań proceduralnych. Ogólne bezpieczeństwo działań jest skodyfikowane w Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych Administracji z dnia 16 września 2008 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpieczeństwa i higieny służby strażyaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz. U. 2008 Nr 180, poz. 1115). W rozporządzeniu tym uregulowane zostały kwestie związane z działaniami podczas katastrof budowlanych, dotyczące:

- wyszkolenia i uprawnienia strażyaków do prowadzenia działań i obsługi specjalistycznego sprzętu ratowniczego,
- środków ochrony osobistej,
- zasad bezpiecznego postępowania,
- stanu wyższej konieczności.

Komendant Główny PSP wydał Zasady Działań Poszukiwawczo-Ratowniczych w Krajowym Systemie Ratowniczo-Gaśniczym. Wyszczególnione są tam działania w zakresie podstawowym oraz specjalistycznym, w tym na terenie Polski oraz poza jej granicami. Wszystkie zagadnienia, poczynawszy

Introduction

Search and rescue operations are among the most difficult and dangerous operations carried out by the State Fire Service and its supporting entities which are members of the National Firefighting and Rescue System (KSRG). They require the combination of knowledge from multiple rescue service fields and the use of techniques known to a limited group of specialised rescuers. The safety of rescuers depends not only on their qualifications but also, to a considerable extent, on the particular situation, which often changes dynamically and unpredictably as the operations proceed.

The threats which may appear during search and rescue operations include mainly:

- destruction of buildings or their parts,
- collapse of unstable parts or structural elements of the building,
- explosions,
- the impossibility of carefully inspecting the building's structure,
- exposure to chemical or biological hazardous materials,
- electrocution,
- fall or injury sustained while moving around the rubble site,
- exposure to smoke and dust,
- exposure to excessive noise,
- performing operations in confined spaces,
- deficit of oxygen in the atmosphere,
- aftershocks.

Therefore, these operations require careful planning and preparation of rescuers, equipment and procedural solutions. The general safety of operations is codified in the Regulation of the Minister of the Interior and Administration of 16 September 2008 on the detailed health and safety conditions for the State Fire Service (Journal of Laws of 2008, No. 180, item 1115). The Regulation governs such issues related to operations during structural failures as:

- training and authorising firefighters to carry out rescue operations and to operate specialised rescue equipment,
- personal protection equipment,
- safe behaviour rules,
- state of higher necessity.

The Chief Commandant of the State Fire Service issued "The organisation rules of search and rescue operations in the National Firefighting and Rescue System". The rules govern primary and specialised operations in Poland and abroad. All issues, starting from the equipment of units to authorisations of rescuers, tactics, group composition and the organisation of

od wyposażenia jednostek przez uprawnienia ratowników, taktykę działań, skład grupy aż po organizację bazy operacji USAR POLAND, dotyczą bezpośrednio lub pośrednio bezpieczeństwa działań. Dodatkowo uregulowania dotyczące działań podczas międzynarodowych misji ratowniczych są zawarte w przewodniku INSARAG. Ogólne zasady bezpieczeństwa zostały zebrane w części 3 w dziale 7 (Safety and security).

Istnieje także bardzo wiele publikacji dotyczących działań poszukiwawczo-ratowniczych, w których wyszczególnione są zasady bezpieczeństwa obowiązujące w innych krajach. Na szczególną uwagę zasługują opracowania anglosaskie, które w sposób całościowy obejmują wszystkie aspekty działań podczas katastrof budowlanych (*Field Operations Guide lcs 420-. FEMA, U.S. Fire Administration/National Fire Academy, 2016 oraz Field Operations Guide, U.S. Army Corps of Engineers Urban Search & Rescue, Edition 8.1, 2016*).

Podział miejsca prowadzenia działań na strefy

Jak każdy obszar prowadzenia działań ratowniczych również teren katastrofy budowlanej należy zabezpieczyć przed dostępem osób postronnych. Jednakże ze względu na możliwość powstania zagrożeń wtórnych, należy także wyznaczyć strefę bądź strefy zasięgu bezpośredniego zagrożenia. Zagrożenie to w większości przypadków spowodowane będzie możliwością osunięcia się elementów budowlanych lub całkowitego zawalenia się budowli oraz eksplozji (np. butli z gazem LPG). Przyjmuje się, że strefę bezpośredniego zagrożenia należy wyznaczyć w odległości równej 150% maksymalnej odległości, na jaką osuną się niestabilne elementy konstrukcyjne.

Przykład: Jeżeli uszkodzeniu uległa kamienica o wysokości 8 m, a jej ściany zewnętrzne pozostały w pozycji pionowej i są niestabilne, to strefę bezpośredniego zagrożenia wyznacza się w odległości 12 m od obrysu budynku ($8 \text{ m} \times 150\% = 12 \text{ m}$).

Zgodnie z obecnie obowiązującymi zasadami organizacji działań poszukiwawczo-ratowniczych w KSRG z 2016 roku, strefy należy oznakować za pomocą białoczerwonej taśmy. Oznakowanie należy wykonać na jeden z dwóch sposobów, w zależności od rodzaju strefy (ryc. 1).

the USAR POLAND operation base, are all directly or indirectly linked to the safety of operations. In addition, regulations referring to operations during international rescue missions are included in the INSARAG guidelines. General safety rules are compiled in Volume 3 Section 7 (Safety and security).

There are also numerous publications concerning search and rescue operations which specify safety rules applied in other countries. Special attention should be paid to Anglo-Saxon publications which cover all the aspects of operations during structural failures (*Field Operations Guide lcs 420-. FEMA, U.S. Fire Administration/National Fire Academy, 2016 and Field Operations Guide, U.S. Army Corps of Engineers Urban Search & Rescue, Edition 8.1, 2016*).

Division of the operation site into zones

As in the case of every location of rescue operations, the structural failure area should be protected from bystander access. However, due to the possibility of secondary threats, it is also important to establish the immediate danger zone(s). In most cases, the threat is associated with the possibility of subsiding of structural elements or a complete collapse of the structure, or explosion (e.g. from an LPG container). It is assumed that the immediate danger zone should be set up at a distance equal to 150% of the maximum distance to which structural elements may subside.

Example: If a tenement house with a height of 8 m was damaged, its external walls remained in the vertical position but are unstable, the immediate danger zone is set up at 12 m from the building's outline ($8 \text{ m} \times 150\% = 12 \text{ m}$).

In line with the currently valid rules of organising search and rescue operations within KSRG of 2016, the zones should be marked with a white and red tape. The marking should be made using one of two methods, depending on the type of the zone (Fig. 1).



Strefa działań operacyjnych ograniczonego dostępu dla osób postronnych / Operational zone with limited bystander access



Strefa niebezpieczna (zakaz wstępu) / Danger zone (no entry)

Rycina 1. Oznakowanie stref: ograniczonego dostępu dla osób postronnych oraz bezpośredniego zagrożenia

Figure 1. Marking of the zone with limited bystander access and of the immediate danger zone

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Monitoring stabilności konstrukcji. Oficer bezpieczeństwa budowli

Podczas pracy na gruzowisku największym zagrożeniem dla ratowników są spadające niestabilne części budynku bądź elementy konstrukcji budowlanych. Dlatego też podczas działań należy prowadzić ciągły monitoring stabilności elementów konstrukcyjnych. Podczas planowania działania nie można przewidzieć zniszczeń oraz tego, jakie elementy konstrukcyjne będzie trzeba monitorować. Każdorazowo musi to zastać określone przez wykwalifikowanych ratowników na miejscu katastrofy. Dokładnej analizy statyki uszkodzonych konstrukcji budowlanych może dokonać oficer ds. bezpieczeństwa budowli (którego kwalifikacje zostały określone w Zasadach Organizacji Działania Poszukiwawczo-Ratowniczych w KSRG) lub powiatowy inspektor budowlany.

Istnieją dwa sposoby zapobiegania skutkom osuwania się lub zawalenia się elementów konstrukcji budowlanych. Pierwszym jest unikanie narażenia, zaś drugim ochrona konstrukcji przed zawaleniem. Unikanie narażenia nie polega jedynie na zakazie prowadzenia działań w strefach bezpośredniego zagrożenia. Przyjmuje się, że w określonych warunkach można dopuścić ratowników do działań, a w celu uniknięcia zagrożenia ewakuować ich do strefy bezpiecznej. Należy jednak przyjąć przynajmniej jedno założenie: bezpieczna ewakuacja musi nastąpić przed utratą stabilności któregokolwiek z elementów konstrukcji. Metoda ta wymaga wytypowania elementów, których stabilność należy monitorować. W zależności od sytuacji monitoring może objąć całe ściany budynków lub poszczególne elementy konstrukcyjne. Zależy to od rodzaju i konstrukcji budynku, a także od rodzaju i stopnia zniszczeń.

Monitorowanie może być realizowane przez obserwację bez użycia przyrządów, obserwację za pomocą optycznych urzą-

Structure stability monitoring. Building safety officer

During work on the rubble site, the greatest threat to rescuers is caused by falling unstable parts of the building or elements of building structures. Therefore, during operations it is important to continuously monitor the stability of structural elements. During the planning of operations, it is impossible to predict the size of damage, or which structural elements will need to be monitored. This must be specified by qualified rescuers on site. A detailed analysis of the stability of building structures may be performed by building safety officers (whose qualifications are specified in the Organisation rules of search and rescue operations in the National Firefighting and Rescue System) or the district building inspector.

There are two ways of preventing the effects of structural element subsiding or collapse. The first is to avoid exposure and the other – to prevent the collapse of the structure. Avoiding exposure involves not only operations in the immediate danger zones. It is assumed that in specific conditions rescuers may be allowed to perform operations in order to avoid the hazard or to evacuate them to a safe zone. However, at least one rule should be followed: safe evacuation must be completed before any of the structural elements lose their stability. This method requires the identification of elements whose stability should be monitored. Depending on the situation, the monitoring may cover entire building walls or specific structural elements. This depends on the type and structure of the building and the kind and degree of damage.

Such monitoring may take the form of observation without equipment, observation with optical land surveying equipment (such as a theodolite) or the use of advanced measurement equipment. Building safety officers are appointed as members



Rycina 2. Przykładowy system do badania statyki konstrukcji, oparty na teodolicie oraz oprogramowaniu geodezyjnym

Figure 2. An example of the system for analysing structure stability based on a theodolite and land surveying software

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

dzeń geodezyjnych (takich jak np. teodolit) lub przez użycie zaawansowanych urządzeń pomiarowych. Obecnie w strukturach specjalistycznych grup poszukiwawczo-ratowniczych poziomu gotowości „C” są wyznaczeni oficerowie bezpieczeństwa budowli. Odpowiedzialni są oni za ocenę zniszczeń, stałe monitorowanie statyki konstrukcji oraz wyznaczenie elementów wymagających stabilizacji.

Stabilizacja części budynków lub elementów ich konstrukcji stanowi kolejną metodę zapobiegania zagrożeniom pochodzącym z możliwości ich osunięcia się lub przewrócenia.

Ewakuacja ze strefy zagrożenia

Poza strefą bezpośredniego zagrożenia wyznacza się miejsce bezpieczne na wypadek ewakuacji ratowników z gruzowiska oraz ustala się bezpieczne drogi ewakuacji. Ratownicy wchodzący do strefy bezpośredniego zagrożenia muszą zostać poinformowani o drodze ewakuacji oraz bezpiecznym miejscu po ewakuacji.

W przypadku poruszania się po niestabilnym podłożu, dobrą praktyką jest wykonanie poręczowania za pomocą liny, wzdłuż bezpiecznej drogi ewakuacji. Należy zwrócić uwagę, że najkrótsza droga nie zawsze jest tą najbezpieczniejszą. Sytuacja na miejscu działań jest dynamiczna, dlatego warunki bezpieczeństwa (w tym bezpieczne miejsca oraz bezpieczne drogi ewakuacji) należy cyklicznie aktualizować. Po każdorazowej aktualizacji każdy ratownik przebywający w strefie bezpośredniego zagrożenia, musi zostać o tym fakcie poinformowany.

Pomiędzy ratownikami należy ustalić system komunikacji. Najczęściej na czas działań nadawany jest oddzielny kanał ratowniczo-gaśniczy, a wszyscy ratownicy wchodzący na gruzy powinni być wyposażeni w radiostacje przenośne. Dodatkowo ustalone są specjalne sygnały dźwiękowe (zob. ryc. 3).

of specialised search and rescue groups with preparedness level C. They are responsible for assessing damage, continuous monitoring of the structure's stability and identifying elements which need to be stabilised.

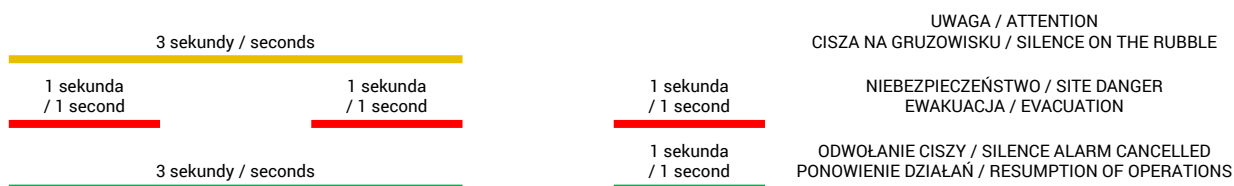
Stabilising parts of buildings or their structural elements is another method of preventing threats related to the possibility of their subsiding or collapse.

Evacuation from the danger zone

In addition to the immediate danger zone, a safe spot is set up for the eventuality of evacuation of rescuers from the rubble site, and safe evacuation routes are specified. Rescuers entering the immediate danger zone must be informed of the evacuation route and the safe spot for evacuation.

When moving on unstable ground, a good practice is to make safety netting with a rope along the safe evacuation route. It should be pointed out that the shortest path is not always the safest. The situation on the operation site is dynamic, which is why safety conditions (including safe spots and evacuation routes) should be regularly updated. After each update, each rescuer staying in the immediate danger zone should be notified of it.

A communication system between the rescuers should be established. Most often, a separate rescue and firefighting channel is created for the duration of operations, and all rescuers working on the rubble site should be equipped with mobile radio transmitters. In addition, special sound signals are established (see Fig. 3).



Rycina 3. Znaczenie sygnałów dźwiękowych

Figure 3. Meaning of sound alarms

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Sygnały te muszą być nadawane za pomocą sprzętu słyszalnego na całym miejscu akcji (np. sygnalizatora akustycznego), nagłośnienie montowane na pojeździe pożarniczym, megafon czy gwizdek. W niektórych sytuacjach można zastosować dwa radia ustawione naprzeciw siebie i pracujące na tym samym kanale radiowym, w taki sposób, aby podczas nadawania dochodziło do sprzężenia. Uruchomienie jednego z nich powoduje wtedy emisję głośnego dźwięku w innych odbiornikach pracujących na tym samym kanale.

These signals must be emitted with equipment that is audible on the operation site (e.g. an acoustic signaller), a sound system installed on a firefighting vehicle, a megaphone or a whistle. In some situations, two radio transmitters can be placed opposite each other and used with the same radio channel set so as to create audio feedback. When one of them is turned on, this results in the emission of a loud sound in the other transmitters operating on the same channel.

Oficer bezpieczeństwa działań. Kontrola wejścia i wyjścia

Ze względu na szeroki zakres występujących zagrożeń podczas akcji poszukiwawczo-ratowniczych należy wyznaczyć oficera bezpieczeństwa działań odpowiedzialnego za nadzór nad bezpiecznym prowadzeniem czynności ratowniczych na wskazanym obszarze. Osoba ta jest odpowiedzialna za identyfikację zagrożeń oraz zapobieganie ich skutkom. Czynniki, na jakie ma reagować to zarówno niebezpieczne warunki działań, jak i niebezpieczne zachowania ratowników. W zakres działań oficera bezpieczeństwa wchodzi także kontrola liczby oraz położenia ratowników przebywających w strefie bezpośredniego zagrożenia.

Oficer bezpieczeństwa działań jest niezależnym obserwatorem, niezaangażowanym bezpośrednio w działania ratownicze. W pierwszej fazie akcji, przy małej ilości sił, funkcję oficera bezpieczeństwa działań obejmuje KDR lub dowódca odcinka bojowego. Często funkcję oficera bezpieczeństwa działań łączy się z funkcją oficera bezpieczeństwa budowli. Przy rozległych działaniach wyznacza się więcej niż jednego oficera bezpieczeństwa działań (do każdego odcinka bojowego oddzielnie). Należy podkreślić jednak, że sygnały bezpieczeństwa nadawane przez któregośkolwiek z ratowników obowiązują wszystkich uczestników akcji przebywających w strefie bezpośredniego zagrożenia.

Operational safety officer. Entry and exit control

Since there are various types of threats during search and rescue operations, an operational safety officer should be appointed to oversee the safe performance of rescue operations in a specific area. The officer is responsible for identifying threats and preventing their consequences. The factors to which the officer is expected to respond include hazardous operational conditions and dangerous rescuer behaviour. The operational safety officer is also responsible for controlling the number of rescuers in the immediate danger zone.

The officer is an independent observer who is not directly involved in rescue operations. In the first phase of any operation, when human resources are limited, the function of the operational safety officer is assumed by the Commander of Rescue Operations or the Commander of the Section. The function of the operational safety officer is frequently combined with the role of building safety officer. For extensive operations, more than one operational safety officer is appointed (one for each section). It should be emphasised, however, that safety signals issued by any of the rescuers apply to all operation participants present in the immediate danger zone.



Rycina 4. Przykład organizacji pracy na gruzowisku

Figure 4. An example of work organisation on the rubble site

Źródło: Opracowanie własne

Source: Own elaboration.

Środki ochrony osobistej

Ze względu na charakter zagrożeń oraz w celu zminimalizowania ich skutków ratownicy mają obowiązek stosowania środków ochrony osobistej, do których należą:

- obuwie ochronne,
- ubranie ochronne,
- kask,
- rękawice ochronne,
- środki ochrony oczu i twarzy (np. okulary ochronne, gogle, przyłbice),
- środki ochrony słuchu,
- maseczka przeciwpółowa,
- czujnik bezruchu,

Personal protective equipment

Considering the nature of threats, and with a view to minimising their consequences, it is obligatory for the rescuers to use personal protective equipment, including:

- protective footwear,
- protective clothing,
- helmets,
- protective gloves,
- eye and face protection (e.g. protective glasses, goggles, visors),
- ear protection,
- dust masks,
- inertial sensors,

- linka ratownicza,
- nakolanniki,
- latarka.

Wyposażenie to dobiera się w zależności od zagrożeń, jakie występują na miejscu akcji. Można je poszerzyć o inne elementy np.:

- półmaskę z filtropochłaniaczem,
- ubranie chemoodporne,
- sprzęt ochrony dróg oddechowych.

Należy zwrócić uwagę na kurz mogący dostać się do oczu. Może on doprowadzić do urazu wymagającego hospitalizacji. Soczewki kontaktowe są bardzo wrażliwe na uszkodzenie, więc osoby, które ich używają powinny mieć ze sobą dodatkową parę okularów.

Niezmiernie ważna jest ochrona dróg oddechowych. Nawet pył powstały w procesie kruszenia betonu oddziałuje drażniąco na pęcherzyki płucne. Wtedy naturalnym mechanizmem obronnym człowieka jest wydzielanie płynów, które mają ochronić powłoki pęcherzyków. W wyniku podrażnienia może dojść do zapalenia płuc. Udowodniono, że włókna azbestu inhalowane do płuc, oprócz działania drażniącego, mają także właściwości rakotwórcze.

Oficer bezpieczeństwa działań każdorazowo wskazuje zagrożenia, na jakie należy zwrócić uwagę, oraz wymagane w zaistniałej sytuacji elementy ochrony osobistej. Może on wprowadzić także:

- system pracy dwójkowej,
- dodatkową rotę zabezpieczającą (np. podczas pracy w zamkniętych przestrzeniach),
- częste podmiiany ratowników,
- zmianową organizację pracy.

- rescue ropes,
- knee pads,
- torches.

The exact choice of equipment depends on the threats occurring on a given action site. The following elements can also be added:

- half masks with combination filters,
- chemoresistant clothing,
- respiratory protective equipment.

Attention should be paid to dust particles that may penetrate rescuers' eyes, as they are likely to cause injuries requiring hospitalisation. Users of contact lenses, which are extremely sensitive to damage, should also wear glasses.

Respiratory protection is of utmost importance, as even the dust resulting from concrete crumbling may have an irritating effect on lung alveoli. In such situations, the natural defensive mechanism used by human body is to secrete fluids that are aimed at protecting the alveoli. Alveoli irritation may cause pneumonia. It has been proven that the asbestos fibres entering human lungs, along with their irritating effect, also show carcinogenic properties.

The operational safety officer each time identifies threats which require particular attention, along with personal protective equipment required in a given situation. The officer may also introduce:

- a two-person operational system,
- a 2-in-2-out model (e.g. for operations performed within enclosed spaces),
- frequent rescuer substitutions,
- shift work organisation.

Zagrożenia biologiczne i chemiczne

Wyróżnia się dwa rodzaje ekspozycji na czynniki chemiczne i biologiczne podczas działań na gruzowisku: bezpośrednie i pośrednie. Bezpośrednie występuje wtedy, gdy ratownicy mają kontakt z substancją niebezpieczną, zaś pośrednie, gdy substancja niebezpieczna jest przenoszona przez inny czynnik (np. wodę, chmurę pyłu lub oparów). Należy pamiętać, że substancje niebezpieczne (chemicznie i biologicznie) mogą występować m.in. w budynkach takich jak: szpitale, uczelnie, szkoły, laboratoria, magazyny czy zakłady produkcyjne. Zagrożenie biologiczne może być następstwem udzielania kwalifikowanej pierwszej pomocy, a także pozostawiania w strukturze gruzów ciał osób poszkodowanych lub zwierząt.

Po narażeniu na kontakt z materiałami niebezpiecznymi chemicznie lub biologicznie należy poddać ludzi, ubrania oraz sprzęt dekontaminacji. Konieczne jest także aby dekontaminacji poddać psy ratownicze. Są one narażone o wiele bardziej niż ratownicy, gdyż nie są zabezpieczone elementami ochrony indywidualnej oraz penetrują gruzy w większym stopniu.

Praca w małych, zamkniętych przestrzeniach wymaga od ratowników zwrócenia uwagi na ryzyko wystąpienia:

- czynników niebezpiecznych chemicznie i biologicznie,
- zmniejszonej zawartości tlenu w powietrzu,

Biological and chemical threats

There are generally two types of exposure to chemical and biological factors during rubble work, i.e. direct and indirect exposure. Direct exposure occurs when rescuers come into contact with hazardous substances, and indirect exposure refers to cases where hazardous substances are transmitted by other factors (e.g. water, an ash cloud or fumes). It is worth noting that hazardous substances (both chemical and biological) may occur, inter alia, in such buildings as hospitals, universities, schools, laboratories, warehouses and production plants. Biological threats may result from providing qualified first aid, or from corpses or carcasses being left within the rubble structure.

Once exposed to chemically or biologically hazardous materials, people, clothing and equipment must undergo decontamination. It is worth noting that the decontamination procedure must also include rescue dogs which run a much higher risk than human rescuers, as they have no protective equipment and penetrate rubble to a greater extent.

When operating within small and enclosed spaces, rescuers need to pay attention to the occurrence of:

- chemical or biological risks,
- the risk of a lower oxygen content in the air,

- dymu i spalin pochodzących od urządzeń spaliniowych (w tym w szczególności tlenku węgla).

Podczas pracy w zamkniętych przestrzeniach, stężenie tlenu oraz czynników szkodliwych, takich jak tlenek węgla, może się zmieniać. W związku z tym należy ciągle monitorować ich zawartość w powietrzu, wykorzystując przy tym urządzenia pomiarowe. Dodatkowo przestrzeń zamkniętą należy wentylować. Jeżeli nie ma takiej możliwości, ratownicy powinni być zabezpieczeni za pomocą sprzętu ODO. Co więcej, każdy ratownik przebywający w zamkniętej przestrzeni musi być asekurowany z zewnątrz.

Podsumowanie

System zabezpieczenia działań LCES został wprowadzony w krajach anglosaskich. LCES jest akronimem od angielskich słów:

- *Lookouts* (obserwatorzy, systemy obserwacyjne),
- *Communication* (system łączności i powiadamiania o zagrożeniu),
- *Escape routes* (bezpieczne drogi ewakuacji),
- *Safety zones* (strefy bezpieczne).

W przypadku grup poszukiwawczo-ratowniczych, *lookouts* (obserwatorzy) oznacza zarówno oficera bezpieczeństwa działań, oficera bezpieczeństwa budowlanego, dowódcę działań (odcinka bojowego), jak i elektroniczne czy optyczne systemy kontroli stabilności naruszonych konstrukcji. Osoby pełniące rolę obserwatorów powinny mieć duże doświadczenie w dziedzinie stabilności konstrukcji budowlanych oraz posiadać informacje o wszystkich ratownikach przebywających w strefie bezpośredniego zagrożenia. Należy także zwrócić uwagę, że system komunikacji musi być niezawodny i najlepiej podwójny, a same sygnały alarmowe zrozumiałe przez wszystkich ratowników. W przypadku działań na gruzowiskach najczęściej stosuje się radiotelefony przenośne oraz system sygnalizacji akustycznej opisany wcześniej w artykule.

Na gruzach powinni przebywać jedynie ratownicy niezbędni do prowadzenia działań. Wszyscy powinni znać wyznaczone drogi bezpiecznej ewakuacji. Drogi takie można dodatkowo wyposażać w liny poręczowe pomagające ratownikom utrzymać równowagę, a w sytuacji ekstremalnej odnaleźć kierunek ewakuacji do strefy bezpiecznej. Przy planowaniu działań warto także przewidzieć alternatywne drogi bezpiecznej ewakuacji. *Lookouts* wraz z *Communication* stanowią system ostrzegania o zagrożeniach. *Escape routes* oraz *Safety zones* wprowadzają procedury reagowania na zagrożenie.

Wnioski

1. Każdy ratownik jest odpowiedzialny za bezpieczeństwo własne oraz osób, z którymi współpracuje. Musi upewnić się, że jest wyposażony w odpowiednie środki ochrony osobistej i łączności.
2. Pierwszego rozpoznania sytuacji dokonują jednostki, które jako pierwsze znajdują się na miejscu działań. Zazwyczaj są

- the risk of smoke and fumes (including CO) generated by internal combustion devices.

Operations performed within enclosed spaces entail the risk of variable concentrations of oxygen and harmful elements, such as carbon monoxide. Therefore, their content in the air should be monitored on an ongoing basis, using measuring devices. In addition, enclosed spaces require proper ventilation. If this proves impossible, rescuers should use respiratory protective equipment. Moreover, every rescuer staying within an enclosed space must be protected from the outside.

Summary

The LCES system for operational safety has been introduced in Anglo-Saxon countries. LCES stands for:

- *Lookouts* (observers and observation systems),
- *Communication* (a communications and threat notification system),
- *Escape routes*,
- *Safety zones*.

As regards search and rescue teams, *Lookouts* refer to both operational safety officers, building safety officers and operations commanders (the tactical section), and the electronic or optical systems of stability control of the affected structures. Observers should have substantial experience in the field of building structure stability. They should also be provided with information on all the rescuers staying within the immediate danger zone. Attention should also be paid to ensuring that the communications system is reliable and, most preferably, doubled, and that alert signals are clear to all the rescuers. In the case of rubble site operations, mobile radio-telephones are most frequently used, along with the acoustic signalling system described earlier in the article.

Only the rescuers that are indispensable for the operation should stay within the rubble, and they should all be familiar with escape routes. Such routes may be additionally equipped with fixed ropes helping rescuers maintain the balance or, under extreme circumstances, identify the escape route to the safety zone. In the operations planning process, alternative escape routes are also worth identifying. *Lookouts* and *Communication* jointly form a threat warning system. *Escape routes* and *Safety zones* provide the basis for developing threat response procedures.

Conclusions

1. All rescuers are responsible for their own safety and for the safety of their colleagues. They must ensure that they are provided with the adequate communications and personal protective equipment.
2. The initial evaluation of the situation should be performed by the units that are the first to arrive at the operation site.

to jednostki przygotowane do działań w zakresie podstawowym. Jest zatem niezwykle istotne, aby dowódcy byli świadomi zagrożeń oraz zapoznani z zasadami bezpieczeństwa podczas katastrof budowlanych.

3. Powinno stać się zasadą, aby nie narażać ratowników – nie wchodzić do strefy bezpośredniego zagrożenia bez wyraźnej potrzeby oraz odpowiedniego zabezpieczenia.
4. Sytuacja na miejscu działań jest dynamiczna – ciągle zmienia się w zależności od oddziaływania zarówno sił zewnętrznych, jak i działań podejmowanych przez ratowników.
5. W strefie bezpośredniego zagrożenia powinno znajdować się jak najmniej ratowników (jedynie liczba niezbędna do bezpiecznego prowadzenia działań).
6. Ciągła analiza bezpieczeństwa podczas działań poszukiwawczo-ratowniczych obejmuje cztery elementy:
 - monitoring sytuacji,
 - komunikację,
 - bezpieczne drogi ewakuacji,
 - strefy bezpieczne.
7. Ze względu na prawdopodobieństwo upadku po gruzach należy poruszać się bardzo ostrożnie. Utrata równowagi i upadek najczęściej są spowodowane:
 - niestabilnością podłoża,
 - zahaczeniem o elementy konstrukcyjne,
 - zahaczeniem o elementy wyposażenia (np. instalację elektryczną, wodociągową, gazową),
 - wpadnięciem w otwory lub przestrzenie.
8. Przenoszenie ciężkiego sprzętu oraz osób poszkodowanych po gruzowisku jest zakazane. Transport ciężkiego sprzętu oraz osób poszkodowanych powinien być realizowany poprzez przekazywanie ciężaru przez ratowników rozstawionych wzdłuż trasy.
9. Stabilizacja wykonywana przez grupy poszukiwawczo-ratownicze polega na tymczasowym podparciu jedynie tych części budynku lub elementów jego konstrukcji, które są niezbędne do bezpiecznego prowadzenia działań poszukiwawczych i ratowniczych.
10. W trakcie działań poszukiwawczo-ratowniczych podczas katastrof budowlanych należy zwrócić uwagę na:
 - oznakowanie miejsca działań (strefy działań, strefy bezpośredniego zagrożenia),
 - identyfikację, oznaczenie i monitoring materiałów niebezpiecznych chemicznie i biologicznie,
 - rozpoznanie zagrożeń pożarowych, wtórnych przemieszczeń elementów konstrukcji budynku,
 - rozpoznanie wyposażenia w media (gaz, prąd, woda i inne),
 - rozpoznanie konieczności pracy na wysokości i w przestrzeniach zamkniętych,
 - wyznaczenie oficera bezpieczeństwa działań, oficera bezpieczeństwa budowlanego,
 - upewnienie się, że wszystkie zidentyfikowane zagrożenia są odpowiednio rozpoznane,
 - eliminację zagrożeń pochodzących od wyposażenia budynku i mediów,
 - kierunek wiatru (ze względu na dym, gazy, pyły),
 - zapewnienie środków ochrony osobistej,

These are usually units prepared for undertaking basic measures. It is, therefore, extremely important that their commanders are aware of the occurring threats and familiar with the safety rules applicable to structural failures.

3. It should be the rule of thumb not to put rescuers at risk, i.e. not to enter the immediate danger zone if not necessary, and to ensure adequate protection.
4. The situation at the operation site is dynamic and constantly changes, depending on external factors as well as measures taken by rescuers.
5. As few rescuers as possible (and as required for the operations to be conducted safely) should stay within the immediate danger zone.
6. The ongoing safety analysis during search and rescue operations includes four elements:
 - monitoring of the situation,
 - communication,
 - escape routes,
 - safety zones.
7. Considering the likelihood of falling down, exceptional caution should be exercised when moving around the rubble. Loss of balance and falls are usually caused by:
 - surface instability,
 - catching on construction elements,
 - catching on infrastructure elements (e.g. electrical, water supply or gas supply system elements),
 - falling into holes or spaces.
8. It is prohibited to move any heavy equipment or casualties around the rubble. The transport of heavy equipment or casualties should be arranged by the load's being passed on by rescuers deployed along the route.
9. The stabilisation measures taken by search and rescue teams involve temporarily supporting only those building parts or construction elements that are indispensable for the safe performance of search and rescue operations.
10. During any search and rescue operations performed in connection with structural failures, attention should be paid to:
 - properly marking the operation site (the operation zone and the immediate danger zone),
 - identifying, marking and monitoring any chemically or biologically hazardous materials,
 - recognising fire threats and secondary displacements of building structure elements,
 - recognising the types of infrastructure (gas, electricity, water and other),
 - recognising the need to perform work at heights and within enclosed spaces,
 - appointing the operational safety officer and the building safety officer,
 - making sure that all the identified threats have been properly recognised,
 - eliminating the risks posed by building equipment and infrastructure,
 - identifying the wind direction (in view of the smoke, gases and dusts),
 - providing personal protective equipment,

BEST PRACTICE IN ACTION

- zapewnienie bezpiecznego systemu pracy (podmiany, system zmianowy),
 - zapewnienie bezpiecznej drogi ewakuacji oraz bezpiecznego miejsca po ewakuacji.
11. W przypadku działań poszukiwawczo-ratowniczych po katastrofach budowlanych LCES nie jest nową koncepcją. Grupy poszukiwawczo-ratownicze od dawna wyznaczają osoby odpowiedzialne za obserwację sytuacji oraz kontrolę wejścia i wyjścia. Wprowadzone są kanały komunikacji oraz jednoznaczne sygnały alarmowe. Koncepcja LCES jedynie systematyzuje zasady działań już od dawna stosowanych przez grupy poszukiwawczo-ratownicze oraz wskazuje i wskazuje elementy, na które należy zwrócić uwagę.
11. As regards search and rescue operations performed in connection with structural failures, LCES is not a novel concept. In fact, search and rescue teams have had long experience in appointing persons in charge of the situation monitoring, and entry-exit inspections. Communication channels and clear alert signals are used. The LCES concept has only systematised the operational rules which have been observed by search and rescue teams for a long time, indicating elements that deserve special attention.

Literatura / Literature

- [1] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 września 2008 r. w sprawie szczegółowych warunków bezpieczeństwa i higieny służby strażaków Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. 2008 Nr 180, poz. 1115).
- [2] Zasady organizacji działań poszukiwawczo-ratowniczych w KSRG, KG PSP, Warszawa 2016.
- [3] INSARAG Guidelines, United Nations Office for the Coordination of Humanitarian Affairs (OCHA) 2015.
- [4] Merchant D.F., Ashford S.D., USAR Operations ProGuide Series, UK 2008.
- [5] Morris B., *Holmatro's emergency shoring & lifting techniques*, Holmatro Rescue Equipment B.V., The Netherlands 2008.
- [6] *Field Guide for Building Stabilization and Shoring Techniques. BIPS 08*, Homeland Security. Science and Technology, 2011, [dok. Elektr.] https://www.wbdg.org/FFC/DHS/bips_08.pdf.
- [7] Rescue field operations guide, FEMA National Urban Search & Rescue Response System, 2006.
- [8] *Urban search and rescue. Capability Guidelines for Structural Collapse Response*, Emergency Management Australia, 2002.
- [9] Field Operations Guide ICS 420-1. FEMA, U.S. Fire Administration/National Fire Academy, 2016.
- [10] Field Operations Guide, U.S. Army Corps of Engineers Urban Search & Rescue, Edition 8.1 2016.

MGR INŻ. ŁUKASZ PASTUSZKA – absolwent Wydziału Transportu Politechniki Radomskiej. Pracownik Zespołu Laboratoriów Technicznego Wyposażenia Jednostek Ochrony Przeciwpowodziowej CNBOP – Państwowego Instytutu Badawczego. Specjalista z zakresu pojazdów pożarniczych, układów wodnopianowych i pomp pożarniczych. Kierownik i wykonawca projektów badawczo-rozwojowych związanych z techniką pożarniczą. Autor i współautor wielu publikacji naukowych oraz standardów CNBOP-PIB.

MŁ. BRYG. MARCIN PŁOTICA – absolwent SGSP, od 2000 roku członek Specjalistycznej Grupy Poszukiwawczo-Ratowniczej „Łódź”. Początkowo pełnił funkcję przewodnika psa ratowniczego. W latach 2007–2012 był zastępcą dowódcy SGPR „Łódź” zaś od 2013 pełni rolę dowódcy. Pełni także funkcję koordynatora wojewódzkiego do spraw poszukiwania i ratownictwa w województwie łódzkim. Jest ekspertem Europejskiej obrony cywilnej do spraw rozpoznania i koordynacji międzynarodowych działań ratowniczych i humanitarnych

ŁUKASZ PASTUSZKA, M.SC. ENG. – a graduate of the Faculty of Transport at the Radom University of Technology. Works at the Laboratory of Technical Equipment of Fire Protection Units at the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP-PIB). A specialist in the field of fire-fighting vehicles, foam water spray systems, and fire pumps. A manager and contractor in several research and development projects in the field of fire protection technology. An author and co-author of numerous scientific publications and CNBOP-PIB standards.

JUNIOR BRIGADIER MARCIN PŁOTICA – a graduate of the Main School of Fire Service. Since 2000, a member of the “Łódź” Specialised Search and Rescue Group. Initially, a search and rescue dog handler; between 2007 and 2012 a deputy commander, and since 2013 a commander of the “Łódź” Specialised Search and Rescue



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.

Recenzenci 2018 / Reviewers 2018

- Antosiewicz Piotr, mgr inż.** – Instytut Techniki Budowlanej
Balaniuk Vladimir, dr – Lviv State University of Life Safety, Ukraina
Biedugnis Stanisław, prof. dr hab. inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Bielecka Elżbieta, prof. dr hab. inż. – Wojskowa Akademia Techniczna
Bochenek Krzysztof, dr hab. prof. – Uniwersytet Wrocławski
Bohdal Tadeusz, prof. dr hab. inż. – Politechnika Koszalińska
Borkowski Robert, dr hab. prof. – Krakowska Akademia im. Andrzeja Frycza Modrzewskiego
Borowy Andrzej, dr – Instytut Techniki Budowlanej
Brzychczyk Beata, dr inż. – Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja w Krakowie
Centeno Felipe, prof. dr – Federal University of Rio Grande do Sul, Brazylia
Chojnacki Grzegorz, ks. dr hab. prof. – Uniwersytet Szczeciński
Czupryński Andrzej, dr hab. prof. – Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
Dubińska Marzanna, dr – Papieski Wydział Teologiczny w Warszawie, Collegium Joanneum
Dyduch Janusz, prof. dr hab. inż. – Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu
Feltynowski Mariusz, bryg. dr inż. – CNBOP-PIB
Fiertak Maria, dr hab. inż. prof. PK – Politechnika Krakowska
Gałązkowski Robert, dr hab. prof. nadzw. – Lotnicze Pogotowie Ratunkowe
Galecki Piotr, prof. dr hab. med. – Uniwersytet Medyczny w Łodzi
Gaszyński Wojciech, prof. dr hab. n. med. – Uniwersytet Medyczny w Łodzi
Glema Adam, dr hab. inż., prof. – Politechnika Poznańska
Godziński Jan, prof. dr hab. – Uniwersytet Medyczny we Wrocławiu
Goniewicz Mariusz, dr hab. n. med. prof. – Uniwersytet Medyczny w Lublinie
Grabowska-Lepczak Izabella, mł. bryg. dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Grabowski Andrzej, dr hab. inż. prof. – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
Granops Marian, prof. dr hab. inż. – Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich w Bydgoszczy
Grzelak Agnieszka, dr hab. – Akademia Leona Koźmińskiego
Gulida Edward Nikolaevich, dr hab. prof. – Lviv State University of Life Safety, Ukraina
Gwizdała Tomasz, dr hab. inż. – Uniwersytet Łódzki
Haman Jacek, dr hab. – Uniwersytet Warszawski
Jarmosko Stanisław, prof. dr hab. – Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach
Kalicka Zofia, prof. dr hab. – Akademia Górniczo-Hutnicza
Kański Andrzej, prof. dr hab. – Wyższa Szkoła Rehabilitacji w Warszawie
Kholostov Aleksandr L'vovich – State Fire Academy of Emercom of Russia, Rosja
Kicko-Walczak Ewa, dr hab. inż., prof. IMPiB – Instytut Inżynierii Materiałów Polimerowych i Barwników
Kitler Waldemar, prof. dr hab. inż. – Akademia Sztuki Wojennej
Kołbuk Wiktor, prof. dr hab. – Katolicki Uniwersytet Lubelski Jana Pawła II
Koniuch Ariadna, mł. bryg. mgr inż. – Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej
Konopka Zbigniew Tadeusz, prof. dr hab. inż. – Politechnika Częstochowska
Kosiński Jerzy, mł. insp. dr hab. inż. – Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie
Kośmider Tomasz, płk dr hab. prof. – Akademia Sztuki Wojennej
Kozłowski Ryszard, dr hab. prof. – Politechnika Krakowska
Kozoderov Vladimir – Moscow State University, Rosja
Krasnodębski Grzegorz, dr hab., prof. – Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni
Krasuski Adam, mł. bryg. dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Krzysztofek Mariusz, dr hab. – Instytut Ochrony Danych Osobowych
Kubica Przemysław, mł. bryg. dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Kubicki Grzegorz, dr inż. – Politechnika Warszawska
Kulesza Zbigniew, dr hab. inż. – Politechnika Białostocka
Lapshin S.S. – FGBOU VO Ivanovskaya Pozharno-Spasatel'naya Akademiya Gps Mchs Rossii, Rosja
Lebecki Kazimierz, dr hab. – Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy
Lesiak Piotr, mgr inż. – CNBOP-PIB
Leszczuk Mikołaj, dr hab. inż. – Akademia Górniczo-Hutnicza
Lib Waldemar, dr – Uniwersytet Wrocławski
Maciejewski Hieronim, prof. zw. dr hab. – Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
Maciejewski Jan, dr hab. prof. – Uniwersytet Wrocławski
Maj Piotr, dr inż. – Politechnika Warszawska
Maślak Mariusz, dr hab. inż. prof. PK – Politechnika Krakowska
Merkisz Jerzy, prof. dr hab. inż. – Politechnika Poznańska
Mizerski Andrzej, dr hab. inż. prof. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Moczyłowska Joanna M., dr hab., prof. – Politechnika Białostocka
Modliński Norbert, dr inż. – Politechnika Wrocławska
Mroczek Bożena, dr hab. n. zdr., prof. nadzw. – Pomorski Uniwersytet Medyczny w Szczecinie
Nawojczyk Maria, dr hab. – Akademia Górniczo-Hutnicza
Nowakowski Tomasz, prof. dr hab. inż. – Politechnika Wrocławska
Ogrodnik Paweł, dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Oleksiewicz Izabela, dr hab., prof. – Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Olszewski Piotr, dr – Instytut Przemysłu Skórzanego
Osvoldova Linda Makovicka, dr – University of Žilina, Słowacja
Ozga Dorota, dr n. o zdr. – Uniwersytet Rzeszowski
Pawłowski Witold, ppłk rez. dr n. med. – Warszawski Uniwersytet Medyczny
Piotrowski Jerzy, dr inż. – Politechnika Warszawska
Piwowarski Juliusz, dr hab. prof. – Wyższa Szkoła Bezpieczeństwa Publicznego i Indywidualnego Apeiron
Podlewski Roland, dr – Uniwersytet Medyczny w Poznaniu
Porowski Rafał, bryg. dr hab. inż. – CNBOP-PIB
Półka Marzena, bryg. dr hab. inż., prof. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Prokopski Grzegorz Józef, prof. dr hab. inż. – Politechnika Rzeszowska
Rabajczyk Anna, dr hab., prof. – Akademia Techniczno-Humanistyczna w Bielsku-Białej
Rak Janusz Ryszard, Prof. dr hab. inż. – Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Łukasiewicza
Roguski Jacek, dr inż. – CNBOP-PIB
Rostek Katarzyna, dr hab. inż., prof. – Politechnika Warszawska
Rzeszut Katarzyna, dr hab. – Politechnika Poznańska
Salamonowicz Zdzisław, mł. bryg. dr – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Saluk-Bijak, dr hab. prof. UŁ – Uniwersytet Łódzki
Sergiej Shyrkov Aleksandrovich, dr hab. – State Fire Academy of Emercom of Russia, Rosja
Sitarz Marek, prof. dr hab. inż. – Akademia WSB
Skowroński Wojciech, prof. dr hab. inż. – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
Skwarzec Bogdan, prof. dr hab. – Uniwersytet Gdański
Sobolewski Grzegorz, prof. dr hab. – Akademia Sztuki Wojennej
Sobolewski Mirosław, st. bryg. dr inż. – Akademia Sztuki Wojennej
Stala Józef, ks. prof. dr hab. – Uniwersytet Papieski Jana Pawła II
Staśko Renata, dr – Uniwersytet Pedagogiczny im. KEN w Krakowie
Stojer-Polańska Joanna, dr – Szkoła Wyższej Psychologii Społecznej w Katowicach
Szczepny Artur, dr inż. – Politechnika Łódzka
Sznajd-Weron Katarzyna, prof. dr hab. – Politechnika Wrocławska

Szumigała Maciej, dr – Politechnika Poznańska
Ścibiorek Zbigniew, prof. dr hab. – Akademia Sił Łądowych we Wrocławiu
Śladkowski Stanisław, prof. dr hab. – Wyższa Szkoła Bezpieczeństwa
w Poznaniu
Śliwierski Bogusław, dr – Uniwersytet Łódzki
Tarapata Zbigniew, dr hab. inż. prof. – Wojskowa Akademia Techniczna
Tofiło Piotr, st. kpt. dr – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Toleshov A.K., prof. – National University of Science and Technology, Rosja
Tuśnio Norbert, mł. bryg. dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
Urbaniak Magdalena, dr inż. – Zachodniopomorski Uniwersytet Techno-
logiczny w Szczecinie

Walk Marta, dr
Wąs Jarosław, dr hab. inż. – Akademia Górniczo-Hutnicza
Węgrzyński Wojciech, dr inż. – Instytut Techniki Budowlanej
Wiśniewska-Paź Barbara, dr hab., prof. – Uniwersytet Wrocławski
Witkowski Artur, dr inż. – University of Central Lancashire, Wielka Brytania
Wnęk Waldemar, bryg. w st. spocz. dr inż.
Wygocka-Domagalla Agata, dr inż. – Zachodniopomorski Uniwersytet
Technologiczny w Szczecinie
Zych Jan, dr hab. inż. prof. – Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach