ISSN 1895-8443
Vol. 43 Issue 3
September 2016

CNBOP-PIB

BiTP

Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza
Safety & Fire Technique

Wydawnictwo CNBOP-PIB

Vol. 43 Issue 3, 2016

BiTP

Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza

Safety & Fire Technique

Kwartalnik CNBOP-PIB

CNBOP-PIB Quarterly

Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego
Państwowego Instytutu Badawczego

Publishing House of Scientific and Research Centre for Fire Protection
National Research Institute

bitp.cnbop.pl

Józefów 2016

Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza
BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016
XI rok wydawania

KOMITET REDAKCYJNY

Redaktor Naczelny
bryg. dr inż. Dariusz Wróblewski
Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

Przewodniczący Komitetu Redakcyjnego
Redaktor Działu Organizacja i Zarządzanie Strategiczne
st. bryg. w st. spocz. dr inż. Eugeniusz W. Roguski

Redaktor Działu Badania i Rozwój
st. bryg. dr inż. Robert Wolański – Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

Redaktor Działu Technika i Technologia
dr Tomasz Węsierski – Szkoła Główna Służby Pożarniczej

Redaktor Działu Certyfikacja, Aprobaty i Rekomendacje
bryg. dr inż. Jacek Zboina – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

Redaktor Działu Partnerstwo dla Innowacyjności na Rzecz Bezpieczeństwa
st. bryg. mgr inż. Krzysztof Biskup – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

Redaktor Działu Studium Przypadku – Analiza Zdarzeń Rzeczywistych
nadbryg. Janusz Skulich

Redaktor Działu Szkolenia i Propagowanie Wiedzy
st. bryg. dr inż. Grzegorz Stankiewicz – Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Poznaniu

Redaktor Działu Z Praktyki dla Praktyki
nadbryg. w st. spocz. Maciej Schroeder

Redaktor Działu Nauki Humanistyczne i Społeczne na Rzecz Bezpieczeństwa
prof. dr hab. Bernard Wiśniewski – SGSP, Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie

Redaktor Działu Postacie Pożarnictwa
st. bryg. w st. spocz. mgr inż. Jan Kielin – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

Redaktor Działu Ratownictwo i Medycyna Katastrof
dr n. med. Magdalena Witt – Uniwersytet Medyczny w Poznaniu

Redaktor Działu Inżynieria Pożarowa
dr inż. Dorota Brzezińska – Politechnika Łódzka

Sekretarze Redakcji
mgr Julia Pinkiewicz, Elżbieta Muszyńska

Redaktor Językowy – język polski
mgr Julia Pinkiewicz

Redaktor Językowy – język angielski
Jan Stanisław Łopata

Redaktor Językowy – język rosyjski
mgr inż. Julia Mazur

Redaktor Statystyczny
dr Tomasz Węsierski

Przygotowanie do wydania:
mgr Anna Golińska

© by Wydawnictwo Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowego Instytutu Badawczego
Nakład 150 egzemplarzy

Wersja papierowa jest wersją pierwotną.

RADA NAUKOWA

prof. Bogdan Z. Długogórski,
Murdoch University in Perth, Australia

prof. dr inż. Aleš Dudáček,
Vysoká Škola Báňská – Technická Univerzita Ostrava (Technical University of Ostrava), Czechy

prof. 范维澄 (Fan Weicheng),
中国科学技术大学 (State Key Laboratory of Fire Science – University of Science and Technology of China), Chiny

gen. major dr Виктор Иванович Климкин (Wiktor Iwanowicz Klimkin),
Oversight and Prevention Department of EMERCOM of Russia

prof. dr inż. Rainer Koch,
Universität Paderborn, Institut für Feuer- und Rettungstechnologie der Stadt Dortmund (the University of Paderborn, Institute for Fire and Rescue Technology in Dortmund), Niemcy

prof. dr inż. Venkatesh Kodur,
Michigan State University (Stany Zjednoczone)

prof. Jesús Ignacio Martínez Paricio,
Universidad Complutense de Madrid (The Complutense University of Madrid), Hiszpania

dr inż. Hauke Speth,
Institut für Feuer- und Rettungstechnologie der Stadt Dortmund (Institute for Fire and Rescue Technology in Dortmund, Germany), Niemcy

dr hab. inż. Lech Starczewski – prof. WITPiS,
Wojskowy Instytut Techniki Pancernej i Samochodowej (Military Institute of Armoured and Automotive Technology), Polska

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

prof. Andriej Kuzyk
– Lviv State University of Life Safety, Ukraina

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

ISSN 1895-8443

DOI: 10.12845

Projekt okładki:
Barbara Dominowska

Redakcja:
ul. Nadwiślańska 213; 05-420 Józefów k/Otwocka tel. 22 769 32 20
e-mail: **kwartalnik@cnbop.pl**
bitp.cnbop.pl

Czasopismo „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza/ Safety & Fire Technique" jest pismem kierowanym do kadr kierowniczych ochrony przeciwpożarowej, pracowników jednostek administracji państwowej i samorządowej zajmujących się problematyką zarządzania kryzysowego, pracowników naukowych i dydaktycznych uczelni i instytutów badawczych zainteresowanych tą problematyką. Artykuły publikowane w Kwartalniku przechodzą proces recenzyjny.

Kwartalnik „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" jest publikowany w darmowym i otwartym dostępie tzn. każdy użytkownik ma prawo czytać, kopiować, drukować, rozpowszechniać, cytować i przeszukiwać zasoby otwarte, w tym pełne teksty artykułów, z zachowaniem praw autorskich ich twórców.
Użytkownik korzysta z zamieszczonych w Kwartalniku artykułów zgodnie z obowiązującymi przepisami o dozwolonym użytku, podając na kopii utworu informację o źródle i autorze/ach.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

13 pkt

IC Journals Master List

7,26 pkt

Na podstawie decyzji Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego (Komunikat z dnia 18 grudnia 2015 roku) za artykuły naukowe opublikowane na łamach czasopisma przyznawane jest 13 punktów do dorobku naukowego.

Safety & Fire Technique/Безопасность и Пожарная Техника
BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016
The XI[th] year of publishing/XI год публикации журнала

EDITORIAL COMMITTEE/РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛА

Editor-in-Chief/Главный Редактор
bryg. Dariusz Wróblewski, PhD/бригадир Дариуш Врублевски, д-р инж.
Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland/Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны – Государственный Исследовательский Институт, Польша

Chairman of Editorial Committee/Возглавляющий Редакционного Совета
Section Editor: Organization and Strategic Management/
Редактор Отдела: Организация и Стратегическое Руководство
Eugeniusz W. Roguski, PhD/Эугениуш В. Рогуски, д-р инж.

Section Editor: Research and Development /
Редактор Отдела: Исследования и развитие
st. bryg. Robert Wolański, PhD /старший бригадир Роберт Воляньский, д-р инж. – The Fire Service College of the State Fire Service in Krakow, Poland / Школа Аспирантов Государственной Пожарной Службы в Кракове

Section Editor: Technique and Technology / Редактор Отдела: Техника и технология
Tomasz Węsierski, PhD/Томаш Веньсерски, д-р – The Main School of Fire Service (SGSP), Poland / Главная Школа Пожарной Службы (SGSP), Польша

Section Editor: Certification, Approvals and Recommendations/
Редактор Отдела: Сертификация, одобрения и рекомендации
bryg. Jacek Zboina, PhD/бригадир Яцек Збоина, д-р инж. – Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland/ Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны – Государственный Исследовательский Институт, Польша

Section Editor: Partnership for Safety Innovation/
Редактор Отдела: Партнерство для развития в целях безопасности
st. bryg. Krzysztof Biskup, M.Eng./старший бригадир Кшиштоф Бискуп, магистр инж. – Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland/Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны – Государственный Исследовательский Институт, Польша

Section Editor: Case Study – Analysis of Actual Events/
Редактор Отдела: Анализ реальных событий
nadbryg. Janusz Skulich/надбригадир Януш Скулих

Section Editor: Training and Knowledge Promotion/
Редактор Отдела: Обучение и пропагандирование знаний
st. bryg. Grzegorz Stankiewicz, PhD/старший бригадир Григорий Станкевич д-р инж. – The Fire Service College of the State Fire Service in Poznan, Poland / Школа Аспирантов Государственной Пожарной Службы в Познани

Section Editor: Best Practice in Action / Редактор Отдела: С практики для практики
nadbryg. w st. spocz. Maciej Schroeder/надбригадир в отставке Мацей Шредер

Section Editor: Humanities and Social Sciences for Safety/Редактор Отдела: Гуманистические и общественные науки на благо безопасности
prof. Bernard Wiśniewski/ проф. Бернард Висьневски – The Main School of Fire Service (SGSP), Police Academy in Szczytno/Главная Школа Пожарной Службы (SGSP), Высшая школа полиции в г. Щитно

Section Editor: People Involved in Firefighting/Редактор Отдела: Лица пожарной охраны
Jan Kielin, M.Eng. / Ян Киелин, магистр инж. – Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland/Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны – Государственный Исследовательский Институт, Польша

Section Editor: Rescue and Disaster Medicine / Редактор Отдела: Служба спасения и медицина катастроф
Magdalena Witt, MD / Магдалена Витт, д-р мед. наук – Medical University in Poznań, Poland / Медицинский университет в г. Познань, Польша

Section Editor: Fire Engineering / Редактор Отдела: Пожарная инженерия
Dorota Brzezińska, PhD / Дорота Бжезиньска, д-р инж. – Lodz University of Technology, Poland / Лодзинский технический университет, Польша

Editorial Secretary, Секретарь Редакции,
Julia Pinkiewicz, M.A./ Юлия Пинкевич, магистр
Elżbieta Muszyńska / Эльжбета Мушиньска

Language Editor – Polish Language / Языковой редактор – польский язык:
Julia Pinkiewicz, M.A./ Юлия Пинкевич, магистр

Language Editor – English Language/языковой редактор – английский язык:
Jan Stanisław Łopata / Ян Станислав Лопата

Language Editor – Russian Language/языковой редактор – русский язык:
Yuliya Mazur, M.Eng./ Юлия Мазур, магистр инж.

Statistical Editor/Статистический редактор:
Tomasz Węsierski, PhD/Томаш Венсерски, д-р
Prepared for editing by/Подготовили к печати: **Anna Golińska, M.A./ Анна Голиньска, магистр;**

EDITORIAL ADVISORY BOARD/НАУЧНЫЙ СОВЕТ

prof. Bogdan Z. Długogórski/проф. Богдан З. Длугогурски
Murdoch University in Perth, Australia/Университет Мердока в городе Перт, Австралия

prof. Aleš Dudáček, PhD/проф. Алеш Дудачэк, д-р инж.
Technical University of Ostrava, Czech Republic/Остравский Технический Университет, Чехия

prof. Fan Weicheng/проф. Фан Вейченг
State Key Laboratory of Fire Science – University of Science and Technology of China/Государственная лаборатория пожарной техники – Университет наук и технологий в Китае

gen. mayor Viktor Ivanovich Klimkin, PhD/ген. майор Виктор Иванович Климкин, д-р
Oversight and Prevention Department of EMERCOM of Russia / Департамент надзорной деятельности и профилактической работы Министерства Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий

prof. Rainer Koch, PhD/проф. Райнер Кох, д-р инж.
The University of Paderborn, Institute for Fire and Rescue Technology in Dortmund, Germany/Университет Падерборн, Институт Пожарной и Спасательной Технологии в г. Дортмунд, Германия

prof. Venkatesh Kodur, PhD/проф. Венкатеш Кодур, д-р инж.
Michigan State University (USA) / Мичиганский университет (США)

prof. Jesús Ignacio Martínez Paricio/проф. Гесус Игнасио Мартинес Парицио
The Complutense University of Madrid, Spain/Мадридский Университет в г. Комплутенс, Испания

Hauke Speth, PhD/Хауке Спет, д-р инж.
Institute for Fire and Rescue Technology in Dortmund, Germany/Институт Пожарной и Спасательной Технологии в г. Дортмунд, Германия

Lech Starczewski, PhD, prof. WITPiS/проф. Лех Старчевский, д-р инж.
Military Institute of Armoured and Automotive Technology, Poland/Военный Институт Броневой и Автомобильной Техники, Польша

prof. Asif Usmani/проф. Асиф Усмани
BRE Centre for Fire Safety Engineering – The University of Edinburgh (UK)/ Центр BRE Техники Пожарной Безопасности – Эдинбургский Университет (Великобритания)

prof. Andrey Kuzyk / проф. Андрей Кузык
Lviv State University of Life Safety, Ukraine / Львовский государственный университет безопасности жизнедеятельности

Aleksandr Vasilevich Matyushyn, PhD / Александр Васильевич Матюшин, д-р
All-Russian Scientific Research Institute of Fire Safety (VNIIPO), Russia / ФГБУ ВНИИПО МЧС России

ISSN 1895-8443

DOI: 10.12845
© by Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute
Publishing House (Wydawnictwo CNBOP-PIB)/Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны им. Иосифа Тулишковскего – Государственный Исследовательский Институт, Польша
Circulation/Тираж: 150 copies/экземпляров
Paper version constitutes a primary version of the journal.
Печатная версия ежеквартальника является первичной версией.

Cover design/Проект обложки:
Barbara Dominowska/Барбара Доминовска

Editorial Office/Издательский дом:
ul. Nadwiślańska 213;
05-420 Józefów k/Otwocka
tel. 22 769 32 20
e-mail: **kwartalnik@cnbop.pl**
bitp.cnbop.pl

The quarterly journal Bezpieczeństwo i *Technika Pożarnicza/Safety & Fire Technique* is addressed to fire protection managers, state and local government employees, researchers and tutors from universities and research institutes interested in the issues of fire protection, civil protection and crisis management. Articles in the quarterly go through a peer review process.
Журнал «Безопасность и Пожарная Техника» является журналом, который адресован к руководящим кадрам противопожарной охраны, работникам государственных и местных исполнительных органов власти, занимающихся проблематикой кризисного управления, работникам научно-педагогических университетов и исследовательских институтов, заинтересованных этой проблематикой. Журнал содержит только рецензированные статьи.
The Quarterly "Safety & Fire Technique" is published in free and open access, i.e., each user can read, copy, print, spread, cite and search open resources, including full texts of articles, respecting the copyright of its authors. A user can take advantage of articles published in the Quarterly in accordance with binding law on permitted use, indicating on the copy of the material information about the source and authors. Ежеквартальник BiTP „Безопасность и Пожарная Техника" публикуется в открытом и бесплатном доступе т.е. каждый пользователь вправе читать, копировать, печатать, распространять, цитировать и пересматривать открытые ресурсы, в том полные тексты статей с сохранением авторских прав их создателей. Пользователь использует помещенные в Ежеквартальнике статьи согласно действующим правилам допустимого исполь -зования, указывая на копии произведения информацию об источнике и авторе/авторах.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

13 points / 13 баллов

IC Journals Master List

7.26 points / 7,26 балла

Under decision of the Minister of Science and Higher Education (The announcement of December 18, 2015) there are 13 points attributed to the author's academic achievements for publishing scientific articles in the Quarterly/На основе решения Министра Науки и Высшего Образования (Сообщение от 18 декабря 2015 года) за статьи, опубликованные в Ежеквартальнике авторы получают 13 баллов, прибавляемых к результатам их научной деятельности.

SPIS TREŚCI

ORGANIZACJA I ZARZĄDZANIE STRATEGICZNE

Rola i miejsce ochotniczych straży pożarnych w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym 13
Barbara Ratajczyk

NAUKI HUMANISTYCZNE I SPOŁECZNE NA RZECZ BEZPIECZEŃSTWA

Dostępność przestrzenna straży pożarnej do miejsc potencjalnych interwencji na terenie województwa łódzkiego 21
Szymon Wiśniewski

BADANIA I ROZWÓJ

Subiektywna ocena możliwości utraty nośności konstrukcji budowlanej w warunkach pożaru 37
Urszula Garlińska, Paweł Michalak, Tomasz Popielarczyk

Badanie dokładności określenia parametrów powłok ogniochronnych konstrukcji metalowych 45
A.I. Kovalev, N.V. Zobenko

Analiza wpływu wydajności i kąta rozpylenia na rozkład średnic kropel w strumieniu rozpylonym wytwarzanym przez prądownicę Turbo Master 52 51
Jerzy Gałaj, Tomasz Drzymała, Daniel Tabaka

Zależność rozdziału wody od współczynnika przepływu dla wybranych tryskaczy ESFR 63
Agata Domżał, Waldemar Wnęk, Mateusz Prokop

Zagrożenie pożarowe konstrukcji obiektów mostowych w świetle obowiązujących przepisów 73
Tomasz Gruszecki, Artur Litwin

Zwiększenie skuteczności gaszenia pożarów metodą gazową z wykorzystaniem fali uderzeniowej 81
V.M. Balanyuk

Odporność ogniowa słupów stalowych i żelbetowych nagrzewanych z mniej niż czterech stron 95
Wojciech Szymkuć, Adam Glema, Michał Malendowski

Analiza porównawcza metod eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych 105
Sławczo Denczew, Grzegorz Serejko

Prognozowanie strumienia ciepła na zewnątrz budynku z użyciem różnych wariantów obliczeniowych w odniesieniu do danych eksperymentalnych 117
Piotr Tofiło, Vladimir Mozer

Automaty komórkowe w modelowaniu ewakuacji 127
Mariusz Barański, Tadeusz Maciak

Zagrożenie pożarowe Puszczy Białowieskiej 143
Ryszard Szczygieł, Mirosław Kwiatkowski, Bartłomiej Kołakowski

Koncepcja bezpiecznej ewakuacji ze statków cumujących w rzeczno-morskim porcie Szczecin w przypadku zagrożenia terrorystycznego podczas trwania imprez masowych 161
Dorota Łozowicka, Magdalena Kaup

TECHNIKA I TECHNOLOGIA

Zastosowanie symulacji wirtualnej do szkolenia w zakresie bezpieczeństwa użytkowania obiektu na przykładzie terminalu lotniczego 173
Jacek Roguski, Mariusz Chmielewski, Roman Wantoch-Rekowski

Ocena jakości wody zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne w aspekcie jej oddziaływania na stan techniczny urządzeń 185
Sławczo Denczew, Grzegorz Serejko

Wybrane problemy zasilania w wodę instalacji wodociągowych przeciwpożarowych w wysokich budynkach mieszkalnych 195
Sylwester Kieliszek, Tomasz Drzymała

Zastosowanie technologii skaningu laserowego i termowizji do inwentaryzacji tunelu i znajdujących się w nim urządzeń przeciwpożarowych 199
Piotr Dronszczyk, Michał Strach

Możliwości stosowania technologii oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń gazowych w tunelach drogowych 215
Stanisław Nawrat, Natalia Schmidt-Polończyk, Sebastian Napieraj

Stosowanie systemów kaset straży pożarnej – zapewnienie dostępu do obiektu w przypadku nieobecności personelu na potrzeby prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych 223
Jacek Zboina, Mirosław Pender

INŻYNIERIA POŻAROWA

Sposób doprowadzenia powietrza kompensacyjnego a wzdłużna wentylacja pożarowa stacji metra 231
Grzegorz Krajewski, Wojciech Węgrzyński

Bariera powietrzna jako podział przestrzeni o charakterze liniowym w warunkach pożaru **243**
Grzegorz Krajewski, Wojciech Węgrzyński

Ocena bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego z wentylacją wzdłużną w warunkach pożaru przy wykorzystaniu narzędzi modelowania numerycznego **253**
Stanisław Nawrat, Natalia Schmidt-Polończyk, Sebastian Napieraj

RATOWNICTWO I MEDYCYNA KATASTROF

Niski poziom wiedzy pracowników zespołów ratownictwa medycznego na temat medycznych działań ratowniczych wykonywanych przez strażaków-ratowników **265**
Tomasz Kłosiewicz

CERTYFIKACJA, APROBATY I REKOMENDACJE

Analiza wymagań dla instalacji wodociągowych przeciwpożarowych w wysokich budynkach mieszkalnych **275**
Tomasz Drzymała, Sylwester Kieliszek, Marcin Szutkowski

Wytyczne dla Autorów **285**

Nagrody CNBOP-PIB **295**

Najważniejsze wydarzenia **304**

TABLE OF CONTENT
СОДЕРЖАНИЕ

ORGANIZATION AND STRATEGIC MANAGEMENT
ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

The Role and Place of Volunteer Fire Service in the National Rescue and Firefighting System
Роль и место добровольных пожарных дружин в Национальной Спасательно-Гасящей Системе 13
Barbara Ratajczyk

HUMANITIES AND SOCIAL SCIENCES IN THE CONTEXT OF SAFETY
ГУМАНИСТИЧЕСКИЕ И ОБЩЕСТВЕНЫЕ НАУКИ НА БЛАГО БЕЗОПАСНОСТИ

Fire Service Accessibility to Potential Intervention Areas in Łódź Voivodship
Пространственный доступ пожарной службы к местам потенциальных действий на территории Лодзинского воеводства 21
Szymon Wiśniewski

RESEARCH AND DEVELOPMENT
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ

Subjective Assessment of the Potential Loss of Load-Bearing Capacity in Buildings Exposed to a Fire
Субъективная оценка возможности потери несущей способности здания в условиях пожара 37
Urszula Garlińska, Paweł Michalak, Tomasz Popielarczyk

Исследование точности определения параметров огнезащитных покрытий металлических конструкций
Testing the Accuracy of Designating the Parameters of Intumescent Coatings of Metal Constructions 45
A.I. Kovalev, N.V. Zobenko

An Analysis of the Impact of Flow Rate and Spray Angle on the Distribution of Water Droplet Diameters in the Spray Stream Generated by the Turbo Master 52 Nozzle
Анализ влияния производительности и угла распыления на распределение диаметра капель в струе из пожарного ствола TURBO MASTER 52 51
Jerzy Gałaj, Tomasz Drzymała, Daniel Tabaka

The Dependence of Water Distribution on the Flow Coefficient of Selected ESFR Sprinklers
Зависимость распределения воды от коэффициента расхода для выбранных спринклеров ESFR 63
Agata Domżał, Waldemar Wnęk, Mateusz Prokop

Fire Hazard of Bridge Structures in light of Current Regulations
Пожарная опасность мостовых объектов согласно действующему законодательству 73
Tomasz Gruszecki, Artur Litwin

Increasing the Effectiveness of Fire Extinguishing using a Gas Method which Applies a Shock Wave
Повышение эффективности газового пожаротушения ударной волной 81
V.M. Balanyuk

Fire Resistance of Steel and Reinforced Concrete Columns Exposed to Fire on Less Than Four Sides
Огнестойкость стальных и железобетонных колонн, обогреваемых с менее четырех сторон 95
Wojciech Szymkuć, Adam Glema, Michał Malendowski

Comparative Analysis of the Methods of Using Fixed Water Firefighting Equipment
Сравнительный анализ методов эксплуатации автоматических установок водяного пожаротушения 105
Sławczo Denczew, Grzegorz Serejko

Estimating the Heat Flux Outside a Building Using Various Calculation Approaches with Respect to the Experimental Data
Прогнозирование величины теплового потока снаружи здания в случае внутреннего пожара. Сравнение вариантов расчета с экспериментальным данным 117
Piotr Tofiło, Vladimir Mozer

Cellular Automata in Evacuation Modelling
Клеточные автоматы при моделировании эвакуации 127
Mariusz Barański, Tadeusz Maciak

Forest Fire Risk at Białowieża Primeval Forest
Пожарная опасность в Беловежской Пуще 143
Ryszard Szczygieł, Mirosław Kwiatkowski, Bartłomiej Kołakowski

The Concept of Safe Evacuation From Sea Faring Vessels at the Port of Szczecin in Circumstances Occasioned by Terrorist Threats during Mass Events
Концепция безопасной эвакуации с судов причаливающих в речном и морском порте Щецин в случае террористической угрозы во время массовых мероприятий 161
Dorota Łozowicka, Magdalena Kaup

TECHNIQUE AND TECHNOLOGY
ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ

The Application of Virtual Simulation in Training within the Scope of Safe Use of Facilities Based on The Example of an Airport Terminal
Применение виртуальной симуляции для обучения безопасности использования объекта на примере терминала аэропорта 173
Jacek Roguski, Mariusz Chmielewski, Roman Wantoch-Rekowski

Evaluation of Water Quality which Supply Sprinkler Systems in terms of its Impact on the Condition of Equipment
Оценка качества воды, снабжающей автоматические стационарные установки водяного пожаротушения, относительно ее влияния на техническое состояние оборудования 185
Sławczo Denczew, Grzegorz Serejko

Selected Problems of Water Supply Systems for Firefighting Purposes in High Residential Buildings
Некоторые проблемы водного обеспечения систем пожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях 195
Sylwester Kieliszek, Tomasz Drzymała

The Use of Laser Scanning Technology and Infrared Thermography to Survey a Tunnel and its Fire Protection Devices
Применение технологии лазерного сканирования и термовидения для инвентаризации туннеля и находящегося в нем противопожарного оборудования 199
Piotr Dronszczyk, Michał Strach

Possibility of Using Air Purification Technology From Gas Pollution in Road Tunnels
Возможность использования технологии очистки воздуха от газовых загрязнений в дорожных туннелях 215
Stanisław Nawrat, Natalia Schmidt-Polończyk, Sebastian Napieraj

Application of Emergency Key Boxes – Ensuring Access to a Building when the Occupants are not Present for Fire and Rescue Operations
Использование систем пожарных шкафов для ключей – обеспечение доступа к объекту в случае отсутствия персонала для целей проведения спасательно-гасящих действий 223
Jacek Zboina, Mirosław Pender

FIRE ENGINEERING
ПОЖАРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

The Influence of Air Supply Methods on Longitudinal Fire Ventilation of Underground Stations
Способ подачи компенсационного воздуха а продольная противопожарная вентиляция станции метро 231
Grzegorz Krajewski, Wojciech Węgrzyński

Air Barrier as a Compartmentation of Longontidual Space in Fire Conditions
Использование воздушной преграды для разделения линейного пространства в условиях пожара 243
Grzegorz Krajewski, Wojciech Węgrzyński

Safety Assessment of Road Tunnels with Longitudinal Ventilation, During a Fire Incident, Utilizing Numerical modelling Tools
Оценка безопасности пользователей автомобильного тоннеля с продольной вентиляцией в условиях пожара с использованием инструментов численного моделирования 253
Stanisław Nawrat, Natalia Schmidt-Polończyk, Sebastian Napieraj

RESCUE AND DISASTER MEDICINE
СЛУЖБА СПАСЕНИЯ И МЕДИЦИНА КАТАСТРОФ

Low Level of Knowledge among Rescue Teams about Medical Rescue Procedures Performed by Firefighters
Низкий уровень знаний работников бригад скорой медицинской помощи о спасательных медицинских действиях выполняемых пожарными-спасателями 265
Tomasz Kłosiewicz

CERTIFICATION, APPROVALS AND RECOMMENDATIONS
СЕРТИФИКАЦИЯ, ОДОБРЕНИЯ И РЕКОМЕНДАЦИИ

An Analysis of Water Supply System Requirements to Enhance Fire Safety in High Rise Residential Accommodation
Анализ требований к системам противопожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях 275
Tomasz Drzymała, Sylwester Kieliszek, Marcin Szutkowski

Guide for authors 288
Правила для авторов 291

CNBOP-PIB Achievements 296
Достижения CNBOP–PIB 297

Major events 306
Самые важные события 308

CNBOP-PIB, wrzesień 2016

Szanowni Czytelnicy,

Przekazujemy w Państwa ręce kolejne wydanie kwartalnika naukowego „BiTP Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza".

W bieżącym numerze znajduje się 25 artykułów. Tradycyjnie znalazły się wśród nich liczne prace bezpośrednio związane z technicznymi zagadnieniami ochrony przeciwpożarowej, jak na przykład te przedstawiające czynniki wpływające na skuteczność systemów gaśniczych lub problemy ochrony przeciwpożarowej budynków. Artykuły przypisane zostały do 7 działów tematycznych, w tym także do najmłodszego działu Inżynieria Pożarowa. Jest nam bardzo miło, że ta dziedzina cieszy się dużą popularnością.

Wśród artykułów, które zdaniem redakcji zasługują na szczególną uwagę, znalazł się artykuł pt. *Analiza wymagań dla instalacji wodociągowych przeciwpożarowych w wysokich budynkach mieszkalnych*. Autorzy podnieśli w nim dyskusję o zasadności dotychczasowych przepisów dotyczących przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę budynków wysokich. Na podstawie przeprowadzonej analizy danych statystycznych przedstawiono propozycję zmiany regulacji obowiązujących w Polsce w tym zakresie.

Państwa uwadze polecamy także artykuł zespołu autorskiego z Instytutu Badawczego Leśnictwa związany z ochroną przeciwpożarową Puszczy Białowieskiej, na którą wpływ ma gradacja kornika drukarza. Autorzy w swojej pracy poruszają niezwykle ważny i aktualny w naszym kraju problem. Z kolei wnioski przedstawione w artykule stanowią cenny wkład w dyskusję na temat zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieskiej.

Bieżący numer jest wyjątkowy nie tylko ze względu na dużą liczbę zebranych w nim specjalistycznych artykułów, ale także w związku z ukazaniem się wybranych prac w wersji dwujęzycznej. Przedstawienie pięciu najlepiej ocenionych artykułów wraz z tłumaczeniem na język angielski było możliwe dzięki dofinansowaniu, jakie otrzymaliśmy od Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. W najbliższym roku w każdym numerze BiTP będzie ukazywać się 5 najlepszych artykułów w wersji polsko-angielskiej. Dzięki uzyskanemu finansowaniu będziemy mieli możliwość publikowania większej liczby oryginalnych artykułów w języku angielskim, co z pewnością pozwoli nam dotrzeć do większego grona odbiorców poza granicami kraju. Jest to także okazja do zwiększenia cytowalności tłumaczonych prac. W związku z tym chcielibyśmy serdecznie zaprosić wszystkich naukowców związanych z poruszaną w kwartalniku tematyką do publikowania swoich prac na łamach BiTP. Każdy zgłoszony artykuł ma szanse ukazać się w rozszerzonej, dwujęzycznej wersji.

Jest nam niezmiernie miło poinformować Państwa, że we wrześniu tego roku do grona Komitetu Redakcyjnego kwartalnika dołączył kolejny uznany specjalista. Jest nim pan st. bryg. dr inż. Robert Wolański. Doktor Wolański jest Naczelnikiem Wydziału Kształcenia Zawodowego Szkoły Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie. W Jego dorobku naukowym znajdują się liczne artykuły i publikacje. Doktor Robert Wolański będzie redaktorem działu Badania i Rozwój. Serdecznie witamy w gronie Komitetu.

Zapraszamy wszystkich Czytelników do zapoznania się artykułami przedstawionymi w bieżącym numerze. Mamy nadzieję, że ich lektura będzie dla Państwa interesująca.

Komitet Redakcyjny

CNBOP-PIB, September 2016

Dear Readers,

We present you the next issue of the quarterly journal „BITP Safety & Fire Technique".

In this issue there are 25 articles. Traditionally, you will find among them numerous papers directly related to the technical issues of fire protection, including these presenting the factors that affect the effectiveness of fire extinguishing systems or fire protection of buildings. The articles have been assigned to 7 thematic sections, including our youngest section Fire Engineering. We are very pleased that this area has gained such popularity.

According to the editors among the articles that deserve particular attention was an article entitled *An Analysis of Water Supply System Requirements to Enhance Fire Safety in High Rise Residential Buildings*. The authors raised the issue of the legitimacy of existing regulations regarding water supply for firefighting purposes in high-rise buildings. Based on the analysis of statistical data they presented a proposal to amend the currently biding law in this area in Poland. We also recommend you an article written by the authors from of the Forest Research Institute. It tackles the issue of fire protection in Bialowieża Primeval Forest, which is affected by bark beetle infestation. The authors discussed extremely important and up to date topic in our country. What is more, conclusions presented in the article constitute a valuable contribution to the discussion about the fire hazard in Bialowieża Primeval Forest.

The current issue is unique not only because of the large number of specialist articles, but also due to the publication of the selected works in a bilingual version. Presentation of five best-reviewed articles with a translation into English was possible thanks to the funding we received from the Ministry of Science and Higher Education. During the next year in each issue of BiTP top 5 articles will be published in Polish and English. Thanks to the funding we will be able to publish more original articles in English, which will allow us to reach a larger audience outside the country. It is also an opportunity to increase the citation of translated papers. In respect to this we would like to invite all researchers associated with the themes tackled by the Quarterly to submit their works to BiTP. Every article has a chance to appear in the extended, bilingual version.

We are also very pleased to inform you that in September this year, the Editorial Committee of the Quarterly was joined by another recognized specialist – dr. Robert Wolański, who is Head of the Professional Training Department at the Fire Service College of the State Fire Service in Cracow. He is an author of numerous articles and publications. Robert Wolański will be an editor of Research and Development section. We would like to welcome Robert Wolański in the Committee.

We invite you to read the articles presented in this issue. We hope that all readers find them interesting.

Editorial Committee

CNBOP-PIB, сентябрь 2016

Уважаемые Читатели,

Представляем Вам очередной номер ежеквартального журнала «Безопасность и Пожарная Техника».

В текущем номере находится 25 статей. Традиционно среди них Вы найдете большое количество работ непосредственно связанных с техническими вопросами противопожарной защиты, как, например, те, которые представляют факторы, влияющие на эффективность систем пожаротушения или проблемы противопожарной защиты зданий.

Статьи разделены на 7 тематических разделов, среди которых находится самый младший – Пожарная инженерия. Нам очень приятно, что эта тематика пользуется большой популярностью.

Среди статей, которые по мнению редакции заслуживают особенного внимания, находится статья под названием *Анализ требований к системам противопожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях*. Авторы подняли в ней дискуссию о легитимности существующих правил, касающихся противопожарного водоснабжения высоких зданий. На основе анализа статистических данных представлено предложение об изменении действующего в Польше законодательства в этой области.

Рекомендуем также Вашему вниманию статью авторской группы из Исследовательского Института Лесного Хозяйства связанную с противопожарной защитой Беловежской пущи, на которую влияет вспышка численности короедов. Авторы в своей работе затрагивают очень важную и актуальную в нашей стране проблему. Представленные выводы в статье являются ценным вкладом в обсуждениях о пожарной угрозе в Беловежской пущи.

Текущий номер является уникальным не только из-за большого количества собранных специализированых статей, но и в связи с появлением выбранных работ на двух языках. Представление пяти наиболее высоко оцененных статей с переводом на английский язык стало возможным благодаря финансированию Министерства науки и высшего образования. В течение ближайшего года в каждом номере BiTP появится 5 лучших статей на польском и английском языках. Благодаря полученному финансированию мы сможем опубликовать больше оригинальных статей на английском языке, что позволит нам достичь более широкую аудиторию за пределами страны. Это также возможность увеличения цитируемости переводимых работ. В связи с этим мы хотели бы пригласить всех научных сотрудников, связанных с темами ежеквартального журнала, публиковать свои работы на страницах BiTP. Каждая присланная в редакцию статья имеет шанс появиться в расширенной версии на двух языках.

Мы очень рады сообщить Вам, что в сентябре этого года к редакционному совету ежеквартального журнала присоединился еще один признанный специалист. Это кандидат наук Роберт Воляньский. Роберт Воляньский является руководителем Отдела профессиональной подготовки Школы Аспирантов Государственной Противопожарной Службы в Кракове. Он является автором многочисленных статей и публикаций. Он будет исполнять должность редактора раздела Исследования и Развитие. Приветствуем в Редакционным Комитете!

Предлагаем всем читателям ознакомиться со статьями, представленными в текущем номере. Надеемся, что они будут для Вас интересными.

Редакционный Совет

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.1

Barbara Ratajczyk, M.A.[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 26.01.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 27.07.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

The Role and Place of Volunteer Fire Service in the National Rescue and Firefighting System

Rola i miejsce ochotniczych straży pożarnych w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym

Роль и место добровольных пожарных дружин в Национальной Спасательно-Гасящей Системе

ABSTRAKT

Cel: Określenie roli i miejsca ochotniczych straży pożarnych w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym.
Wprowadzenie: W Polsce ratownictwo zorganizowane jest przede wszystkim w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym. Jest to system otwarty i ściśle współpracujący z otoczeniem. KSRG został powołany w roku 1995 w celu zaspokojenia potrzeb wynikających z naturalnych zachowań człowieka, w szczególności zapewnienia mu bezpieczeństwa. Granice, w których działa system, są bardzo elastyczne. Zapewnia on optymalizację czynności oraz efektywność i skuteczność użytych sił i środków do prowadzenia zarówno prostych, nieskomplikowanych działań, jak i specyficznych, dużych i długotrwałych akcji. Charakterystyczną cechą KSRG jest jego masowość, która wynika z włączenia do niego licznych jednostek ochotniczych straży pożarnych (OSP). Ich liczba wielokrotnie przekracza sumę jednostek ratowniczo-gaśniczych Państwowej Straży Pożarnej (PSP).
Metodologia: Analiza literaturowa w zakresie zadaniowo-funkcjonalnym jednostek ochotniczych straży pożarnych w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym pod kątem przeciwdziałania coraz nowszym rodzajom zagrożeń powstałym wskutek gwałtownego rozwoju cywilizacyjnego.
Wnioski: Rozwiązania strukturalno-organizacyjne KSRG pozwalają na efektywne wykorzystanie potencjału organizacyjnego oraz zasobów technicznych i intelektualnych wszystkich podmiotów ratowniczych i współdziałających z nim jednostek. Dzięki temu system nie stanowi wyizolowanego składnika bezpieczeństwa powszechnego, lecz ważny czynnik, który reaguje na wszelkie zmiany i bardzo aktywnie działa z otoczeniem.
Autorka analizy proponuje podjęcie m.in. następujących działań: utrzymanie jednolitego systemu powiadamiania, koordynacji i wsparcia w celu zapewnienia skuteczności prowadzonych działań ratowniczych; dofinansowanie zakupów sprzętu dla jednostek OSP włączonych do KSRG (pod warunkiem posiadania przez jednostkę co najmniej 12 wyszkolonych ratowników spełniających kryteria udziału w bezpośrednich działaniach ratowniczych). Wdrożenie zawartych w artykule wniosków pozwoli zwiększyć efektywność działań ochotniczych straży pożarnych w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym. Realizacja proponowanych działań przyczyni się także do poprawy skuteczności działań ratowniczych, realizowanych przez OSP, które mogą znacznie szybciej dojechać na miejsce zdarzenia niż jednostki ratowniczo-gaśnicze PSP.

Słowa kluczowe: ochotnicza straż pożarna, krajowy system ratowniczo-gaśniczy, system selektywnego alarmowania
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: Presenting the role and place of the Voluntary Fire Service in the National Rescue and Firefighting System
Introduction: In Poland, rescue is mainly organized in the National Rescue and Firefighting System. It is an open system, closely cooperating with the surroundings. It has operated since 1995 and it was created to meet the needs arising from natural human behavior and in particular to ensure people's safety. Limits within which the system functions are very flexible. It provides optimization of operations and effectiveness and efficiency of forces and means used to conduct simple, uncomplicated actions as well as specific, large and long-term actions. A distinctive feature of the national rescue and firefighting system is its mass character, and that results from including many units of the Volunteer Fire Service in this system. Their number is exceeds multiple times the number of fire and rescue units of the State Fire Service (SFS).
Methodology: Analysis of literature within the scope of task-related and functional matters related to the National Rescue and Fire Fighting System in terms of newer types of threats being the result of the rapid development of civilization in the units of the Volunteer Fire Services.
Conclusions: Structural and organizational solutions of the National Rescue and Firefighting System allow efficient use of organizational, technical and intellectual potential of all rescue and cooperating entities, which leads to the fact that the system does not constitute an isolated component of public safety, but is an important factor responsive to any changes and efficiently cooperates with the surroundings.

[1] Wojskowa Akademia Techniczna / Military University of Technology, Poland; basia_ratajczyk@o2.pl;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.1

Maintaining a uniform system of notification, coordination and support to ensure the effectiveness of rescue operations, financing equipment purchases for individuals, included in the Voluntary Fire Service in the National Rescue and Firefighting System, conditioned by the possession of at least 12 trained rescuers meeting the criteria for participation in direct rescue operations, are some of the conclusions presented in the article. If the conclusions of the article are executed, the activities of the Volunteer Fire Service in the National Fire and Rescue System will be more efficient. Conclusions will be implemented to improve the effectiveness of rescue operations by the Voluntary Fire Service units that can reach a place of incident much faster than the Rescue and Firefighting units of the State Fire Service.

Keywords: Voluntary Fire Service, National Rescue and Firefighting System, system of selective alarm
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Показать роль и место Добровольных пожарных дружин в Национальной Спасательно-Гасящей Системе (KSRG).
Введение: В Польше почти вся служба спасения собрана в Национальной Спасательно-Гасящей Системе. Это открытая система, тесно взаимодействующая с другими субъектами. Она функционирует с 1995 года и была создана из-за необходимости решения ситуаций, возникающих как следствие поведения человека, но также для обеспечения его безопасности. Спектр заданий системы очень эластичен. Она обеспечивает оптимизацию операций, а также эффективность используемых сил и средств для проведения как простых, несложных действий, так и специфических, конкретных и долгосрочных. Характерной особенностью KSRG является ее массовый характер, который связан с присоединением к этой системе многих подразделений добровольных пожарных дружин (OSP). Их число во много раз превышает число подразделений Государственной Пожарной Службы (PSP).
Методология: Анализ литературы относительно задач и функций Национальной Спасательно-гасящей Системы с точки зрения предотвращения добровольными пожарными дружинами все новых угроз, появляющихся в результате быстрого развития цивилизации.
Выводы: Структурно-организационные решения KSRG позволяют эффективно использовать потенциалы организации, технических и интеллектуальных средств всех спасательных субъектов и учреждений взаимодействующих с ней. Это приводит к тому, что система не является изолированным компонентом общественной безопасности, но как важный фактор, реагирует на любые изменения и активно взаимодействует с окружающей средой.
Содержание единой системы оповещения, координации и поддержки для обеспечения эффективности спасательных работ, финансирование закупки оборудования для подразделений добровольных пожарных дружин, включённых в KSRG, у которых есть как минимум 12 обученных спасателей, отвечающих критериям для участия в прямых спасательных действиях – это некоторые из выводов, представленные в статье. Если данные выводы будут воплощены в жизнь, деятельность добровольных пожарных дружин в Национальной Спасательно-Гасящей Системе будет более эффективна. Реализация предложений размещённых в статье будет способствовать повышению эффективности спасательных работ добровольных пожарных дружин, которые смогут прибыть до места происшествия быстрее, чем аварийно-спасательные подразделения Государственной Пожарной Службы.

Ключевые слова: добровольная пожарная служба, государственная спасательно-гасящая система, система селективного оповещения
Вид статьи: обзорная статья

1. Introduction

The National Rescue and Firefighting System (NRFS), organized by the National Fire Department, have begun to operate in Poland since 1995. It is one of the most important national security systems, in particular for public safety, understood as a process involving a range of measures aimed at ensuring the safety of the citizens, including protection of life and health, property and the environment [1]. The concept of the National Rescue and Firefighting System is understood as an integral part of the organization of internal security of the state, including prediction, identifying and combating fires, natural disasters or other local threats to save life, health, property or the environment. This system focuses on the protection of fire units, other services, inspections, guards, institutions and entities that voluntarily through a civil contract agreed to cooperate in rescue operations [2]. A distinctive feature of the NRFS is its mass character, and this is a result of including many units of the Volunteer Fire Service in this system. Their number is higher than the number of firefighting and rescue units of the State Fire Service. Therefore, we are faced with a situation where specialized elements are the core of the security system, but volunteer units which are ubiquitous throughout the country determine its effectiveness in the main, if not the most part. Hence, it is subjected to scientific reflection on the role and place of the Volunteer Fire Service in the National Rescue and Firefighting System. We should also look at the whole system through the prism of the existing legal and formal solutions, point out loopholes and organizational shortcomings in the hope of eliminating irregularities for the sake of national security.

2. The legal basis and genesis of the National Rescue and Firefighting System

In the last century, rapid development of civilization caused the emergence of new types of threats. This contributes to the formation of many factors including rapid technological and economic development, the disappearance of traditional boundaries and continually increasing range of globalization. Even the process of civilization and demographic population is becoming a threat factor.

In many countries, the existence of appropriate technical and organizational conditions allowed the creation of an evolutionary rescue system based on fire services units [3]. In Poland, however, the absence of these conditions provoked the creation of emergency services such as workplace fire departments, which were used to eliminate newly created threats. In the recent years, this situation has begun to change. This was the result of, among others, the requirements of international regulations concerning e.g. ports and airports. Many companies in those days did not want to keep rescue services, which also operated outside the workplace. Some institutions that are in a weak financial condition were forced to terminate this activity. Entities – often already privatized, ensured the safety of their own employees, but actions outside the workplace were indifferent to them. This caused disintegration of the rescue structures. Moreover, various principles regarding organization, equipment, training, command, communication systems in practice prevented cooperation of entities in a variety of large operations, which combined several types of rescue operations. The existing structure of the emergency services seemed to have more and more problems in effective

implementation of rescue operations. Systematically, disparity between preparation of emergency services and evolving threats increased. There were no coherent organizational and legal conditions throughout a wide emergency area, which was the cause of reorganization of the emergency system in the country. Besides, elimination of more than two hundred professional workplace fire departments in 1991-1993 forced these changes [3]. Part of the plants that survived, had to limit feasibility of fire and rescue operations by reducing employment and reducing equipment resources. Local authorities took over the supervision over voluntary fire brigades, which led to the absurd situation where the heads of municipalities and the mayors banned Volunteer Firefighter Units to leave the municipality. This solution disturbed the structure of operational functioning of the regional units which were mainly based on volunteer units [4]. Operational functioning of the company perimeter, primarily based just on volunteer units has been disturbed by this structure.

There is a need to create a system that will meet all threats; such a system is the National Fire and Rescue System.

Two laws were the basis for the creation of this system:

- the act on fire protection [5],
- the act on State Fire Service [6].

Difficulties in coordinating operations of many rescue services in Poland led to a situation where the authors of the act on fire protection and the State Fire Service expended the scope of operation of the fire brigades. They created an effective, unified rescue and firefighting system, which has become a key link in the system of internal security. The assumptions in the structures of the system, in addition to the units of the State Fire Service, must operate together with other units or volunteer fire protection units and fire services and field and company emergency services. Therefore, the State Fire Service has become a leading service organization of the system of rescue operations. The task of creating the National Rescue and Firefighting System to protect life, health, property or the environment through fighting fires and other natural disasters, technical, chemical, ecological and medical rescue has been assigned.

Immediately after the formation of SFS, work began which was to prepare implementing acts to the fire law. They included theoretical basis for NRFS. The legislator has provided a six-month transition period from the date of entry into force of the Act for the establishment of the State Fire Service. Legal acts concerning the determination of detailed rules for the organization of the National Rescue and Firefighting System and the conditions for the inclusion of fire protection in the National Rescue and Firefighting System were also published.

Coming back to the basic legal act, i.e. The Act of 24 August 1991 on the State Fire Service [6], that – in accordance with art. 127 of this Act – the Commander in Chief of the State Fire Service was required to organize the NRFS within three years from the date of its entry into force, that is, until 1 January 1995.

Regulation of 28 December 1994 (currently an archival act) defined detailed operational rules, the appointment procedure of fire protection and rescue teams, and their composition. According to this legislation the State Fire Service has been the main organizer of the National Rescue and Firefighting System. The system included necessary technical and human resources, their organization and management, funding and training. The base units of the system were the State Fire Service. The scope of participation in the system determined the contracts between the State Fire Service and entities supporting voluntary NRFS.

In 1995, in order to complete the tasks of the state in ensuring security of citizens, the National Rescue and Firefighting System was organized and implemented [7]. The system was created by:

- 499 fire and rescue units of district headquarters (municipal) of the National Fire Service,
- 5 fire and rescue units of the State Fire Service Schools,
- 1664 volunteer fire services,
- 5 fire brigade units,
- 12 hospitals (two hospitals in Warsaw and one in Cracow, Poznan, Lodz, Olsztyn, Katowice, Bialystok, Lublin, Szczecin, Wroclaw and Siemianowice Slaskie) [8].

Between 1996 and 1997 additional fire protection units, in particular units composed of volunteer fire brigades, were included in the system.

To ensure constant and high response efficiency to any threats once the country's administrative system has changes, the system was open to all rescue entities which were to conduct rescue operations, regardless of event type. It included services, inspections, rescue units and entities with the capacity suitable for preventing risk. Design of the system assumes that the basic tasks of rescue are fixed and adapted to the specificities of all kinds of events, including mass events or natural disasters when rescue forces and means are insufficient, and the organization of rescue operations needs to be modified in order to simplify operational procedures [9].

The National Rescue and Firefighting System have been developed to meet the needs arising from natural human behavior and in particular to ensure the safety of people. It aims to ensure optimization of operations and the effectiveness and efficiency of forces and means used both to conduct simple, uncomplicated actions as well as specific, large and long-term actions. High operational readiness and effectiveness of the rescue services system and efficient coordination of rescue operations are essential factors for safety.

Unfortunately, the limited budgetary resources of the Ministry of Internal Affairs and Administration were the cause for delay in the system being fully operational. The next stages of creating the NRFS are determined largely by funds allocated for this purpose. Before the Act on the State Fire Service came into force, rescue efforts at the scene were often carried out by emergency services in an uncoordinated manner [3]. The Act does not define in any way the organizational structure of the NRFS, only entrusting management of that same system to the Commander in Chief of the State Fire Service. In contrast, the Minister of Internal Affairs was obliged to issue appropriate regulations for the organization and functioning of the National Rescue and Firefighting System. The establishment of the State Fire Service and the creation of the NRFS obliged other entities to issue a series of implementing acts.

Since 1 October 1996, the functioning of the NRFS in a given province should be coordinated by the provincial governor supported by a team for fire protection and rescue, whereas over an area larger than one province this function is performed by the Head of the Civil Defence (since 8 October 1997) [10]. However, the Act on the State Fire Service [15] does not mention provincial governors or the Head of the National Civil Defence as participants and coordinators of the NRFS.

Planning the number and type of entities belonging to the National Rescue and Firefighting System is based on risk analysis carried out in the districts, provinces of the country by the commanders of the State Fire Service. The inclusion of fire protection units for the NRFS was done at the request of the relevant provincial commander of the State Fire Service. This takes place by agreement between a competent commander and an entity supporting this unit and also between this unit itself. Whereas the decision to include a given unit in the system is issued by the Commander in Chief of the SFS, based on the Code of Administrative Law [11]. The same Commander in Chief keeps registers of fire and rescue services within the system and, based on the material and financial plans annual-

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.1

ly, determines the amount of funds for the purpose of funding from the state budget units included in the system.

Launching NRFS improves the effectiveness of security and its citizens as well as foreigners residing in the country. The National Rescue and Firefighting System have a positive impact on the effectiveness of firefighting or other natural disasters, on technical, chemical, environmental and medical rescue.

To ensure the effectiveness of rescue operations, entities of the National Rescue and Firefighting System are formed in the operating circuits, i.e.: central – by the Commander in Chief of the State Fire Service in the country, and provincial – in the province by the appropriate provincial commander of the State Fire Service, which was established by the Ordinance of the SFS Commander dated 3 July 1996 on the organization and detailed scope of activities of operational reserves (unpublished). Due to the reform of the national political system – the Law of 24 July 1998 on the modification of certain laws defining the competence of public administration bodies [2] modified by article 2 point 4 of the Act on fire protection [5]. The term National Rescue and Firefighting System is understood as an integral part of internal security organizations, including, for the purpose of saving life, health, property and the environment, forecasting, identifying and combating fires, natural disasters or other local threats. This system focuses on fire protection units, other services, inspections, guards, institutions and entities voluntarily concluding civil-law agreements where they agree to cooperate in rescue operations. Also, due to the national reform of the political system, the Act dated 29 December 1998 on the change of certain acts due to implementing the national reform of the political system, organizational rules of the NRFS have changed. These rules provide that the minister responsible for internal affairs shall specify by regulation detailed organizational rules of the NRFS, particularly in the area of organization of the county, the state and the province, fighting fires and other natural disasters, technical, chemical, ecological and medical rescue, disposing to rescue operations and managing them, documenting events and the functioning of the NRFS, organizing operational reserves and command posts.

In 1999, the reform of public administration, in particular the creation of the county and identification of different tasks of the governor forced to modify the operation of the national rescue and firefighting system. Financial conditions did not allow the Commander in Chief of the SFS to organize a system within a forecasted scope with relevant technical preparation. Unfortunately, the state of organization of the system did not provide the security of citizens as may be specified by law. It is worth noting that the system has not been finally organized in 1999. According to the document "The steps of implementing the main elements of the national rescue and firefighting system", developed in 1994 at the Headquarters of the State Fire Service, it was assumed that the target model of the system will be achieved by 31 December 2000.

The Minister of Internal Affairs and Administration executed statutory authorization imposed by the amendment of provisions of article 8 paragraph 4 on the State Fire Service, issuing the Regulation of 20 September 2000 on detailed rules for the equipment of the organizational units of the State Fire Service [12]. The same Minister in the draft of the regulation on detailed rules for the organization of National Rescue and Firefighting System [13] in the organization of the rescue system changed the rules of the development and updating of the emergency plans (Regulation entered into force on 3 March 2011). The organizational units of the State Fire Service created structures that enabled the organization to fulfill leadership roles and coordination in the field of rescue operations, however, in some command post technical preparation in the field of communications systems was not complete. As mentioned above, in the provinces the coordination of the NRFS belongs to the governor. He/She should execute this task using provincial disaster management teams. In fact, the level of implementation of certain provisions under the laws and regulations proved to be varied. In the "Stages of implementation of the major elements of the National Rescue and Firefighting System" it was observed that in some provinces the teams were not sufficiently prepared to fulfill their tasks, in particular, have not developed conclusions and proposals for preventing the onset of emergencies, have not developed the concept of eliminating foreseeable threats in terms of financial, organizational and material matters. Even the equipment was far from the State Fire Service's equipment norms because the financial needs for creating the National Rescue and Firefighting System exceed the amounts received from the state budget.

3. Tasks of the National Rescue and Firefighting System

The National Rescue and Firefighting System have been developed to meet the needs resulting from natural human behavior and in particular to ensure the safety of people, because it is an open system closely cooperating with the surroundings.

- The National Rescue and Firefighting System provide:
- unity of command
- compatibility of activities and equipment during the actions;
- high operational readiness;
- efficiency of the system entities;
- subordination of various recue interests for a common purpose;
- standarization of training and education;
- efficient coordination of rescue operations;
- uniformity and coherence of communication and information transfer.

4. Organizational structure of the National Rescue and Firefighting System

The National Rescue and Firefighting System is organized at three levels corresponding to the basic territorial division of the state:

a) the countryside, which is the basic level of executive rescue operations in the municipalities area and the countryside,
b) the province, as the level of support and coordination of rescue operations in the province,
c) central, as the level of support and coordination of rescue operations in the countryside [14].

The system operates in two forms. The first is constant vigil and acute response, that is carrying out rescue operations using own forces and means of the county and municipalities. The second one consists of carrying out rescue operations requiring the use of manpower and resources from outside the countryside.

The level of support and coordination is activated from the provincial level, and during large complex rescue operations – from the central level. Disposition of the system for rescue operations and alerting interacting entities happens through the following:

a) district (municipal) command posts that interact with duty posts of the local government of the mayors, the governors, the city presidents, as well as integration with alarm points of other entities and services in the province: selective calling of the OSP, alerting the emergency med-

ical services, the police and non-governmental organizations,
b) regional rescue coordination of the National Fire Service, interacting with crisis management centers, provincial governors and administration in the province,
c) National Rescue Coordination Centre and Civil Protection, operating within the framework of the crisis management system in the country.

By 31 December 2015 the National Rescue and Firefighting System consisted of:

- 496 + 5 FSF commands of the State Fire Services,
- 4194 VFS commands of the Voluntary Fire Services.

The System is supported based on service agreements, on inspections and guards, such as among others: the Police, Border Guard, State Inspectorate for Environmental Protection, Institute of Meteorology and Water Management, National Atomic Energy Agency, Mine Rescue Stations, Maritime Search and Rescue, Air Ambulance Rescue as well as non-governmental organizations: Mountain Rescue, Water Rescue, Tatra Voluntary Rescue, Polish Aero Club, Polish Scouts Association, Polish Red Cross, Polish Mountaineering Association. In the provinces, with a minimum of two firefighting companies, the central battalions were created by the operating circuit. Currently, they meet the criterion of 8 provinces, on the basis of which the forces created battalions in Wroclaw, Torun, Lodz, Cracow, Warsaw, Gdansk, Katowice, Poznan.

Central units of the operating circuit meet the standards both in terms of organizational structure, as well as technical equipment, which are set out in the revised command on the organization of the central operating circuit of the Rescue and Firefighting System which was signed by the Commander in Chief of the SFS on 18 January 2010. The changes are designed to fit the organizational structures of the central subunits of the operating circuit and the current needs, flexibility and disposability of individual subunits.

On 12 February 2013 changes to the guidelines for the organization of emergency medical services in the National Rescue and Firefighting became effective. They were outlined by the National Centre for Coordination of Rescue and Civil Protection and the Office of Education Headquarters of the State Fire Service.

In the new guidelines there are provisions regarding additions to the SFS R1 rescue set. The sets should consist of the following equipment:

- laryngeal mask,
- laryngeal tube,
- capnometer or disposable CO_2 indicator,
- a set of pediatric immobilization,
- pre-cooling gels,
- ACS valvular dressings,
- tactical stasis (clamps),
- aspirator for aspirating venom,
- safety goggles,
- saline,
- bag for amputated body parts,
- nitrile gloves,
- TRIAGE segregation set.

Many valuable changes in the emergency procedures have been introduced. Psychological support procedure and a unified system called START for segregating victims have been added, which should be considered reasonable.

In Poland from time to time there are accidents involving a larger number of victims, which show that the system is "leaky".

Starting from dispatchers being trained by firefighters, paramedics and doctors working in emergency departments, who are not specialists in emergency and disaster medicine. Therefore, mandatory training should be introduced dedicated to all emergency services in the districts. Cases from Poland show that there is a large number of volunteers participating in these events. A good solution would be to organize computer simulation training courses not only for senior commanders, but especially for rescuers, drivers, dispatchers and doctors who are directly involved in dealing with the consequences of mass and multiple accidents. More attention should be paid to the number of hours in Qualified First Aid training.

5. The scope of activities and entities in the National Rescue and Firefighting System

The National Rescue and Firefighting System were created to meet one of the basic human needs, which is to ensure the safety of people. The limits within which the system operates are highly flexible, so it reacts to any changes and highly interacts with the surroundings, not being an isolated component of public safety, but its important factor. The National Rescue and Firefighting System aims to protect life, health, property or the environment by:

- fighting fires or other natural disasters;
- technical rescue,
- chemical rescue,
- ecological rescue,
- medical rescue,
- cooperation with the emergency medical services [15].

The basic assumption in the construction of the emergency system was to create a coherent and consistent system that binds different rescue groups. For the NRFS to perform the task properly, a wider form of cooperation is necessary between the operating unit and the other fire protection units of the Volunteer Fire Service, of various departments of the Ministry of Internal Affairs such as the Police, Border Guard and other rescue groups, institutions and enterprises. In the NRFS, Volunteer Fire Services operate in the workplace as well as in the field.

The list of rescue entities which concluded agreements with the State Fire Service on cooperation is very long, and, what is important, it is still growing. It should be noted that the Volunteer Fire Services Association of the Republic of Poland is consistently at the top of that list. It brings individual volunteer firefighters together who previously showed that they are a very reliable and natural ally, without which it would be impossible to carry out efficient rescue. These volunteer firefighters partner with professional firefighters to carry out the most complex and dangerous rescue tasks.

The Voluntary Fire Services are well organized and trained, well equipped. It is a large social group in number bringing together nearly 16,311 units of the Voluntary Fire Services (in 2014), which include approximately 700,000 volunteer firefighters where 470,000 are active members directly involved in the rescue operations [16]. Nowadays fires are approximately 30% of all emergency calls, while the rest are disasters, accidents, emergencies and natural disasters where individuals rely on the Voluntary Fire Service. This is made possible by incorporating the most mobile, well-equipped and trained NRFS units, performing system tasks together with the units of the State Fire Service. Despite modest financial subsidies, considerable gaps in equipment, large operational requirements, they effectively perform assigned rescue tasks [17].

According to the assumptions of the Voluntary Fire Service the units have execute rescue operations in the field of:

- firefighting (by NRFS – internal fires that develop and spread in enclosed spaces (inside buildings, of equipment, facilities) and external fires, which run outside a building or in open space (forests, crops, open landfill, means of transportation, etc.),

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.1

- technical rescue, in particular road rescue (individuals included in the NRFS);
- the provision of qualified first aid – an essential requirement for individuals with NRFS, resulting from the Act of 8 September 2006 on the State Emergency Medical Services;
- minimizing the risks associated with natural disasters [18].

There are also plans to extend the activities to include:

- participation in search and rescue groups, in particular the use of dogs;
- water rescue [18].

6. Prospects for the development Rescue and Firefighting System

The plans of NRFS development, by incorporating Voluntary Fire Service units (VFS) are divided into quantitative and qualitative plans. A quantitative plan means that VFS units included in the NRFS should be arranged in such a manner as for the rescue unit to arrive at the scene at a time not exceeding 15 minutes of receiving notification of an event. It is expected that by the end of 2014, 263 VFS units will be included in the NRFS. The qualitative plan refers to the following tasks in the system: primary which includes specific standards for all units of the system in relation to the rescue operations, and specialized – for some of the VFS units specializing in water rescue, search and rescue etc. VFS units which are incorporated with the NRFS, must be equipped with the following:

- self-contained breathing apparatus – at least 4 sets;;
- hydraulic rescue tools – at least 1 set;
- power generator at least 2.2 kW – at least 1;
- pump for contaminated water with a capacity of at least 1000 l / min – at least 1;
- radio communication including selective calling;
- a set of SFS R1 – at least 1 [8].

VFS unit can be incorporated to the NRFS under the condition that it fulfills the criteria mentioned above within a three-year period.

- In addition, a VFS unit must fulfill the following conditions in order to become a part of the NRFS:
- 12 firefighters trained in accordance with the set standard;
- at least 1 firefighting vehicle with a medium technical module;
- system of selective alarm;
- 4 self-contained breathing apparatus;
- at least one set of R1 Rescue Kit [18].

The Voluntary Fire Service as a part of the NRFS also carries out additional tasks associated with civil protection:

- lighting and supply emergency maintenance of power equipment;
- mass decontamination at the primary level in case of contamination;
- implementation of tasks related to the activities in infected areas;
- performing multiple tasks in situations of humanitarian risks to the population during blizzards, droughts, floods, etc.;
- logistical and security implementation during natural disasters, e.g. providing potable water, food, creating conditions for the survival of people evacuated from affected areas;
- performing other tasks which may help in protecting the population and which are commissioned by local authorities [18].

7. Summary

The effectiveness of the rescue system depends largely on the legislation in force, existing in a given area. Therefore there is a need for continuous improvement and its adaptation to the solutions found in member states of the European Union. There is also a desire to create a universal National Rescue System (NRS) and its further integration with the European rescue. As it can be concluded from the assumptions, this project should be carried out by the evolution introduced in the NRFS. The new common system should be open to all rescue entities (professional, voluntary and commercial), regardless of the ownership structure, their size and organization level of a company. However, it must adapt to the rules that are created and provided for emergency procedures and equipment standards. The general rescue system, besides the units already operating within the NRFS, should include for instance Rescue, Maritime Search and Rescue Service, forces assigned to health care units, rescue forces assigned to armed forces, non-governmental organizations and social rescue organizations, volunteers, businesses whose activity can be effectively used to conduct rescue operations [19].

The experience of recent years has shown that the development of the NRFS should take into account the possibility of implementing tasks in the area of civil defense such as: crisis management, rescue operations on a large scale, such as removing the effects of floods and snowstorms and other contemporary threats. Projects related to the development of the NRFS should include:

- improving the system to alert emergency services and other entities and disposing forces and means for rescue operations;
- improving and unifying: detection, alarm and population warning systems;
- implementing emergency medical services;
- improving coordination of evacuation rules;
- implementing new forms of organization and the functioning of the State Fire Service, e.g. by creating new specialist rescue groups and permanent and temporary branches of rescue units or combined SFS and SFS-VFS units;
- improving cooperation between international rescue coordination posts and the emergency services of neighboring countries in the field of mutual assistance in fire and rescue operations, and predicting and warning against dangers [19].

Should we create a single integrated rescue system? The development of civilization, climate change, industrialization and urbanization, and therefore the increase in the amount of threats, their diversity, and size means that sooner or later such a system will be created, not only in big cities, as it currently operates in some major European and American metropolis. It does not matter whether Poland (as it was with SFS) introduces a national integrated system or whether it will benefit from the experience of other precursors in this field, but effective bringing of comprehensive, highly qualified and, at the same time, specialized assistance needs work on the construction of such an integrated system.

Such a system should have a unitary organizational and administrative structure, and be financed by a single financial source (the state budget could be the best). It must have unitary procedures to dispose forces and resources and to coordinate rescue operations during major rescue and firefighting operations. Moreover, it should have a common communications network, a shared application supporting and coordinating the availability of units, or at least there should be a set of unitary standards for the exchange (format, protocol for data transmission, etc.). The integration should be based primarily

on the construction of a uniform, state-rescue system, based on one basic pattern: a regulation covering the whole field of rescue. How to ensure the safety of citizens and the environment, if not by creating solid legal basis? It could even act as a Rescue Code. There is also a need to create a catalogue of definitions and procedures associated with rescue. This may be the right moment, for instance, to create a clearly defined law to be applied by public authorities and institutions and organizations during rescue operations. The organizer of the system should be obliged to cooperate with those conducting the rescue operations and exchange information with the involved units (update data regarding appropriate resources). There is a need to determine the standards and procedures for rescue and other activities that have an impact on the quality of rescue operations [20]. Specific procedures for creating, recording, and functioning of civil society organizations working hand in hand with volunteer rescue units should also be defined. Finally, there are the tools for enforcing safety standards. The organizer of the system must have legal ability to enforce certain activities of the entity or local government or other institution or organization.

Without a clear and wise law and without reasonable institutions operating on its basis, any serious talk about an integrated rescue system will be, at the most, a catalog of wishful thinking [20].

8. Conclusions

Scientific reflection on the role and place of the Volunteer Fire Service (VFS) in the National Rescue and Firefighting System (NRFS) and wider national rescue security system leads to the following conclusions:

- funding of equipment for the Volunteer Fire Service (VFS) units included in the NRFS should be conditioned by having at least 12 trained rescuers who fulfill the criteria of directly participating in rescue operations, which would act as an incentive system,
- it should be agreed with the General Board of the Polish Association of Volunteer Fire Services and implemented for use,
- proposed standard regarding equipment for the firefighters and the rescuer of the VFS,
- all guard stations of the VFS units included in the NRFS should be equipped with selective alarm systems or other individual notification systems,
- in the case of established indicators on the number of the VFS units in the NRFS, over a given area, the unit should not be excluded when not fulfilling the set criteria to be replaced by another entity that meets the requirements,
- cooperation with the local governments should be the aim in order to achieve a condition where all VFS units included in the NRFS should have the required number of rescuers fulfilling the set criteria being direct participation in rescue operations,
- a unified system of notification, coordination and support which ensures the effectiveness of rescue operations should be maintained,
- adoption of the proposed standard of operational readiness of the VFS with the NRFS, including an increase in the number of units in the system due to the duration of the operating procedures. This requires a change in the General Headquarters of the State Fire Service (procedure P-23, meaning reviewing an application to the Chief Commander of the SFS on the inclusion of individual VFS units to the NRFS;
- evolution of the NRFS is recommended towards the national rescue system and integration of other systems and entities performing rescue operations, eg.: Emergency Medical Services, Aviation, Ambulance Service, Mountain Volunteer Ambulance Service. The development of civilization and new threats, and thus new tasks for the rescue services are a necessity. Therefore it would be advisable to prepare, and then adopt an act in the National Rescue System [21].

If these proposals are implemented, the activity of the Volunteer Fire Service in the National Rescue and Firefighting System (NRFS) will be more efficient. In addition, the proposals will be implemented to improve the effectiveness of rescue operations by the Volunteer Fire Service (VFS) units which could reach the place of incident faster than SFS Firefighting and Rescue Unit.

Today, NRFS is the guarantor of security in emergency situations at every level. Local authorities, as well as the government have an impact on its functioning by identifying tasks and controlling their execution, but also by the management of the system at a certain level when life, health, property or the environment are at risk. Therefore, the entities of the NRFS (VFS and the State Fire Service – SFS) have become the main tool for the governor, as well as the mayor to carry out tasks not only in the field of fire protection, but also widely understood rescue [22]. Structural and organizational solutions of the NRFS allow for efficient use of potential organizational, technical and intellectual solutions for all rescue and cooperating entities, which leads to the fact that the system does not constitute an isolated component of public safety, but is an important factor responsive to any changes and interacting to a large extend with the surroundings. Therefore, the limits within the system are very flexible, and this is manifested in the readiness to fulfill the tasks at all times and under all conditions. NRFS philosophy, adopted and implemented in practice, entails close cooperation with all entities which have the equipment, personnel or database which are useful in conducting rescue operations. Constantly changing nature and frequency of occurrence of hazards require the intervention of emergency services which have a direct impact on the provision of public safety. This is one of the fundamental tasks of each element of the system – forcing organizers to seek new organizational solutions to optimize the use of all the actors involved in emergencies [23].

Abbreviations

VFS – Volunteer Fire Service
NFRS – National Firefighting and Rescue System
SFS – State Fire Service

Literature

[1] Kitler W., *Bezpieczeństwo Narodowe RP. Podstawowe kategorie. Uwarunkowania. System*, Wydawnictwo AON, Warszawa 2011.
[2] Ustawa z dnia 24 lipca 1998 r. o zmianie niektórych ustaw określających kompetencje organów administracji publicznej (Dz. U. Nr 106, poz. 668).
[3] Skoczylas J., *Prawo ratownicze*, Wydawnictwo LexisNexis, Warszawa 2007.
[4] Schroeder M., Płotica M., Żuber J., *Krajowy system ratowniczo-gaśniczy w systemie bezpieczeństwa państwa. Czy jesteśmy bezpieczni?*, Wydawnictwo KGPSP KCKR, Warszawa 1994.
[5] Ustawa 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. Nr 81, poz. 35 art.14)
[6] Ustawa 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. Nr 81, poz. 35 art.14)
[7] Bielicki P., Wawrzynowicz H., *Osoby z dysfunkcjami a postępowanie ratownicze w czasie pożaru: Organizacja systemu ratowniczego*, Szkoła Aspirantów PSP w Poznaniu, Poznań 2004.
[8] Szczurek T., *Od deskrypcji do antycypacji wykorzystania potencjału militarnego w kształtowaniu bezpieczeństwa nowoczesnych*

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.1

wspólnot państwowych wobec rozwoju zagrożeń niemilitarnych, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2012.
[9] Oficjalna strona internetowa KG PSP *http://www.straz.gov.pl/page/index.php?str=944*, [dostęp: 07.11.2014].
[10] Ustawa 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. Nr 81, poz. 35 art.14)
[11] Kodeks Postępowania Administracyjnego z 1960r. (Dz. U. 30, poz. 168 art. 104).
[12] Rozporządzenie z dnia 20 września 2000 r. w sprawie szczegółowych zasad wyposażenia jednostek organizacyjnych Państwowej Straży Pożarnej (Dz. U. Nr 93, poz. 1035).
[13] Rozporządzenie z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (Dz. U. Nr 46, poz. 239).
[14] Leśniakiewicz W., *Państwowa Straż Pożarna a Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy*, w: *Ratownictwo w Polsce lata 1990-2010*, J. Konieczny (red.), Garmond Oficyna Wydawnicza, Warszawa-Poznań-Inowrocław 2010.
[15] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. 81, poz. 351).
[16] Oficjalna strona internetowa ZOSP RP, http://www.zosprp.pl [dostęp: 07.11.2014].
[17] *OSP – ważny posterunek służby publicznej*, „Przegląd Pożarniczy" 2001, nr 1, 5.
[18] Szczurek T., *Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy. Ogólnokrajowe i resortowe systemy zarządzania kryzysowego*, Wojskowa Akademia Techniczna, Warszawa 2013 (wykład- nieopublikowany).
[19] Sienkiewicz-Małyjurek K., F. Krynojewski, *Zarządzanie kryzysowe w administracji publicznej*, Wyd. Difin S.A., Warszawa 2010.
[20] Leszczyński T., *System Ratownictwa – nowe spojrzenie*, BiTP Vol. 40 Issue 2, 2008.
[21] Analiza potencjału ratowniczego Ochotniczych Straży Pożarnych włączonych do KSRG, Warszawa 2011 [dok. elektr.] http://www.kppsp-belchatow.pl/pliki/osp_szkolenia/analiza_osp_ksrg.pdf[dostęp: 07.12.2014].
[22] Kogut B., *Krajowy system ratowniczo-gaśniczy – podstawy prawne i organizacja funkcjonowania*, w: *Ochrona przeciwpożarowa a bezpieczeństwo państwa*, J. Zboina, B. Wiśniewski (red.), CNBOP-PIB, Józefów 2014.
[23] Popis J., *Krajowy system ratowniczo-gaśniczy w systemie bezpieczeństwa wewnętrznego państwa*, w: *Ochrona przeciwpożarowa a bezpieczeństwo państwa,* J. Zboina, B. Wiśniewski (red.), CNBOP-PIB, Józefów 2014.

* * *

Barbara Ratajczyk M.A. – a graduate of English philology at Foreign Languages University in Poznan and a graduate of national defence at the University of Safety in Poznan (master degree). She is writing her Ph.D. thesis at the Military University of Defence. An author of publications in the area of education for safety, critical infrastructure protection and national reserve force.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 21–36

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.2

dr **Szymon Wiśniewski**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 22.12.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 06.05.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Dostępność przestrzenna straży pożarnej do miejsc potencjalnych interwencji na terenie województwa łódzkiego

Fire Service Accessibility to Potential Intervention Areas in Łódź Voivodship

Пространственный доступ пожарной службы к местам потенциальных действий на территории Лодзинского воеводства

ABSTRAKT

Cel: Głównym celem analizy jest określenie przestrzennego dopasowania lokalizacji i rangi jednostek straży pożarnej do rozmieszczenia ludności, elementów zagospodarowania terenu i ukształtowania środowiska województwa łódzkiego, które zasadniczo wpływają na działania straży pożarnej.
Projekt i metody: Do analizy wykorzystano metodę określania obszarów rynkowych (ang. *two-step floating catchment area method*) w wersji klasycznej oraz zmodyfikowanej, która pozwoliła zbadać różnorodne elementy przestrzeni, których mogą dotyczyć interwencje strażackie. Zastosowano trzy zakresy czasowe dojazdu straży pożarnej na miejsce potencjalnej interwencji – nie dłuższy niż 5, 15 i 30 minut. Podstawową jednostką badania była gmina – w ujęciu gminnym przedstawione zostało zróżnicowanie przestrzenne poziomu dostępności. Odległość pomiędzy każdą z analizowanych jednostek straży (punktem na segmencie sieci drogowej na wysokości jednostki) a poszczególnymi elementami zagospodarowania gminy (ich centroidami) wyrażono w jednostkach czasu przejazdu wozu bojowego na miejsce interwencji. Dzięki wykorzystaniu statystyki lokalnej Getisa-Orda badanie pozwoliło wskazać obszary o szczególnie wysokim i niskim poziomie dostępności dla działań straży pożarnej. W badaniu wzięto pod uwagę rozmieszczenie ludności, zabudowy, infrastruktury drogowej, infrastruktury kolejowej, lasów, cieków i zbiorników.
Wyniki: W świetle uzyskanych wyników najlepiej zabezpieczone przez działania straży pożarnej pozostają gminy przy północnej i południowej granicy regionu. Wyraźne jest pogarszanie się poziomu dostępności gmin wraz ze zmniejszaniem się ich odległości od centrum regionu. Obszar, który wymaga szczególnego zainteresowania ze strony straży pożarnej, jest jednak nieznacznie przesunięty na południowy zachód i obejmuje głównie gminy powiatów: pabianickiego i łódzkiego wschodniego.
Wnioski: Ujęcie działalności straży pożarnej na płaszczyźnie przestrzennej może stanowić materiał diagnostyczny, pomocny przy przeprowadzeniu działań mających na celu podniesienie efektywności funkcjonującego systemu straży pożarnej lub utworzeniu na problemowych obszarach nowych jednostek. Wskazane wydaje się zestawienie wyników powyższej analizy z analizą rozmieszczenia rzeczywistych interwencji straży pożarnej, ich rodzaju, czasu trwania czy efektywności.

Słowa kluczowe: straż pożarna, województwo łódzkie, dostępność przestrzenna, zagospodarowanie przestrzenne
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: This analysis provides a spatial focus on the determination of firefighting resource requirements and matching the distribution of resources according to needs created by the concentration of population and terrain profile. Matching of resources will shape the Łódź Voivodship environment for the essential operation of the Fire Brigade.
Project and Methods: For each topic a "two step floating catchment area" analysis method was applied, in the classic and modified versions. Modifications may be applied in such a manner so as to admit different elements, which may impact on firefighting operations. Three response time scales were stipulated for arrival at a potential intervention scene; duration of no more than 5, 15 and 30 minutes. The basic area exposed to scrutiny is a commune. It is in this context that differentiated spatial accessibility is determined. The distance between each firefighting establishment under scrutiny (a point on the segment of the road network at fire station level) and individual management elements of the municipality (their centroids), is expressed in units of time taken by an appliance to reach the scene of an incident. With the use of local statistics "Getisa-Orda", the entire study was able to identify areas with particularly high and low accessibility levels to intervention scenes. The study took account of population, building configuration, road infrastructure, rail infrastructure, forests, watercourses and reservoirs.
Results: Study results reveal that the best protected areas by the Fire Service are found in communes near the northern and southern area of the region. There is a clear deterioration in the level of accessibility to communities as the distance from the centre of the region decreases. The area, which merits special attentions is somewhat offset towards the southwest of the region and mainly includes municipalities of Pabianice and Łódź East.

[1] Uniwersytet Łódzki / University of Lodz; szymon.wisniewski@geo.uni.lodz.pl;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.2

Conclusion: A spatial focus on Fire Service activities may provide a diagnostic tool for eventual action intended to improve the effectiveness of the Fire Service. It can also be used during implementation to address problematic issues for new fire stations. It is advisable that the results obtained by this study should be compared with an analysis of actual Fire Service interventions for the region with a focus on: type of incident, duration and effectiveness.

Keywords: Fire Service, Łódź Voivodship, spatial accessibility, spatial organization
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Основная цель анализа состоит в пространственном определении расположения и важности подразделений пожарной службы относительно распределения населения, рельефа местности Лодзинского воеводства (области), которые в значительной степени влияют на действия пожарных служб.
Проект и методы: Для каждой из анализируемых предметных областей был использован метод 2SFCA в классической и модифицированной версиях, так чтобы обеспечить рассмотрение различных элементов пространства, которые могут подпадать под действия пожарных. Автор применил три пределы времени прибытия пожарной службы на место потенциальных действий – не более 5, 15 и 30 минут. Основной единицей исследования была гмина (волость) – с точки зрения гмин было представлено пространственное распределение уровня доступности. Расстояние между каждой из анализируемых единиц пожарной службы (точкой на отрезке дорожной сети на уровне единицы) и отдельными элементами управления территорией гмины (их центроидами), были выражены в единицах времени проезда боевой машины к месту действия. Общее исследование, использующее локальные статистики Гетиса-Орда, помогло определить участки с особенно высоким и низким уровнем доступа для действий пожарных. Исследование учитывает размещение населения, зданий, дорожной инфраструктуры, железных дорог, лесов, рек и водоемов.
Результаты: В итоге полученных результатов, округами лучше всего защищенными пожарной службой являются те, которые находятся на северном и южном пограничье региона. Существует четкое ухудшение уровня доступности гмин вместе с уменьшением их расстояния от центра региона. Территория, которая требует особого интереса пожарной службы, немного сдвинута на юго-запад региона и включает в себя в основном гмины повятов (районов): Пабианитского и Лодзинско-Восточного.
Выводы: Пространственное представление деятельности пожарной службы может представлять собой диагностический материал для проведения возможных мер по повышению эффективности действующей системы пожарной охраны или созданию на проблемных территориях новых подразделений. Рекомендуется, сравнить результаты приведенного выше анализа с анализом размещения фактических действий пожарной службы, их видов, продолжительности и эффективности.

Ключевые слова: пожарная служба, Лодзинское воеводство, пространственная доступность, пространственное развитие
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Celem artykułu jest próba przestrzennego dopasowania lokalizacji i rangi jednostek straży pożarnej do rozmieszczenia ludności, elementów zagospodarowania terenu i ukształtowania środowiska województwa łódzkiego, które mają zasadniczy wpływ na działania straży pożarnej.

Zgodnie z ustawą o Państwowej Straży Pożarnej [1, art. 1 ust. 2 pkt. 1-3] do podstawowych zadań straży pożarnej (zarówno zawodowej, jak i ochotniczej) należą m.in. rozpoznawanie zagrożeń pożarowych i innych miejscowych zagrożeń, organizowanie i prowadzenie akcji ratowniczych w czasie pożarów, klęsk żywiołowych lub likwidacja miejscowych zagrożeń oraz wykonywanie pomocniczych specjalistycznych czynności ratowniczych w czasie klęsk żywiołowych. Tak szeroki zakres działań wymagał włączenia do analizy efektywności działań tych formacji szeregu zmiennych (nazywanych dalej zakresami tematycznymi). Należą do nich: rozmieszczenie ludności województwa łódzkiego, rozmieszczenie zabudowy, rozmieszczenie infrastruktury drogowej oraz kolejowej, rozmieszczenie lasów, zbiorników i cieków w województwie łódzkim.

Do każdego z wymienionych powyżej zakresów tematycznych zastosowano metodę określania obszarów rynkowych (Two-Step Floating Catchment Area Method, 2SFCA), w wersji klasycznej oraz zmodyfikowanych w taki sposób, aby możliwie najtrafniej uchwyciły istotę badania poszczególnych elementów. Jest to jedno z licznych podejść metodologicznych stosowanych w badaniach dostępności. Dostępność przestrzenna jest często poruszanym tematem badawczym, szczególnie w dziedzinie geografii. Literatura poświęcona temu zagadnieniu jest bogata zarówno w odniesieniu do pozycji polskich, jak i zagranicznych. Wyraźna intensyfikacja badań dotyczących dostępności jest związana z analizami prowadzonymi przez Instytut Geografii i Przestrzennego Zagospodarowania PAN w Warszawie w postaci prac m.in. Z. Taylora [2] czy P. Śleszyńskiego [3] lub T. Komornickiego i P. Śleszyńskiego [4]. Ponadto w ramach tej grupy literatury wskazać można m.in. pozycję R. Domańskiego [5], wprowadzającą w tematykę dostępności, również w ujęciu transportowym. Zagadnienia wstępne w zakresie analiz dostępności transportowej odnaleźć można również w tekście K. Warakomskiej [6] czy W. Sobczyk [7]. Kwestie pomiarów dostępności poruszają ponadto S. Baradaran i F. Ramjerdi [8]. Bardzo cenne dla realizacji badań dostępności są również publikacje P. Rosika, m.in. [9] i [10]. Równie bogatym źródłem informacji dotyczących ujęć dostępności transportowej, jak i metod stosowanych do jej mierzenia, jest pozycja T. Komornickiego i in. [11], mówiąca o relacji pomiędzy dostępnością przestrzenną a polityką transportową czy też W. Pietrusiewicza [12] lub P. Śleszyńskiego [13]. Szczególnie wartościowa w kontekście prowadzonego badania jest publikacja autorstwa M. Stępniaka [14]. Niniejszy artykuł rozwija bowiem rozważania poświęcone dostępności przestrzennej zaprezentowane przez Stępniaka na przykładzie metody 2SFCA, m.in. przenosząc je z typowych dla tej metody zagadnień medycznych na inny zakres tematyczny. Dla każdej z przyjętych płaszczyzn tematycznej analizy zastosowano trzy zakresy czasowe dojazdu straży pożarnej na miejsce potencjalnej interwencji – nie dłuższy niż 5, 15 i 30 minut. Wybór interwałów poprzedzony został kilkukrotną symulacją badań z innymi wartościami czasu dojazdu. Pomimo że nie jest to poparte obiektywnym badaniem, przyjęte finalnie wartości zdaniem autora najtrafniej oddają skalę analizy – od gminnej (do 5 min), przez powiatową (do 15 min), po regionalną (do 30 min). Jako podstawową jednostkę badania przyjęto gminę – w ujęciu gminnym przedstawiono przestrzenne zróżnicowanie poziomu dostępności [15]. Wybór podstawowej jednostki samorządu terytorialnego był uwarunkowany dostępnością danych, przede wszystkim tych mówiących o liczbie mieszkańców, którzy ponad wszelką wątpliwość stanowią najważniejszy przedmiot ochrony. Odle-

głość pomiędzy każdą z analizowanych jednostek straży a poszczególnymi elementami zagospodarowania gminy wyrażono w jednostkach czasu przejazdu wozu bojowego na miejsce interwencji. Przyjęto, że na zmiany prędkości przejazdu samochodu podczas interwencji (przyjęto, że jest ona o 20 km/h wyższa od maksymalnej na danym odcinku drogi) wpływają wyłącznie przepisy ruchu drogowego, odnoszące się do maksymalnych dopuszczalnych prędkości. Pomimo że pojazd uprzywilejowany nie jest objęty ograniczeniami prędkości, można domniemywać, że w nawiązaniu do prędkości projektowych, determinują one maksymalną prędkość pozwalającą na bezpieczny dojazd na miejsce interwencji. Tym samym wyłączono z badania wszystkie pozostałe czynniki, takie jak kongestia czy warunki atmosferyczne. Przyjęto arbitralnie założenie, że prędkość pojazdu podczas interwencji przyjmuje wartości o 20 km/h wyższe, niż te dozwolone na danym odcinku drogi [15]. Wóz strażacki porusza się po najkrótszej ścieżce przejazdu pomiędzy dwoma punktami, która każdorazowo została wyznaczona zgodnie z aplikacją Emapa Transport+ Europa. Każdemu odcinkowi sieci drogowej przypisano atrybuty w postaci długości oraz dozwolonej prędkości przejazdu. Biorąc pod uwagę, że wóz strażacki podczas interwencji przemieszcza się wszelkiego rodzaju infrastrukturą transportową, do analizy włączono również ciągi piesze i pieszo-jezdne. Na tej podstawie obliczono czas przejazdu każdego odcinka. Pozwalało to na wybór kolejnych segmentów sieci zapewniających najkrótszy, skumulowany czas przejazdu pomiędzy punktem startowym i docelowym (algorytm Dijkstry'ego).

Po części wprowadzającej w tematykę funkcjonowania straży pożarnej i założeń badania, opracowanie odnosi się do przestrzennej charakterystyki działania tej formacji w województwie łódzkim oraz kolejno prezentuje zakres danych wejściowych, podejście metodologiczne oraz wyniki dla poszczególnych sześciu płaszczyzn tematycznych. Część końcową opracowania stanowi określenie syntetycznego miernika dostępności, na podstawie którego możliwe było zastosowanie miary lokalnej autokorelacji przestrzennej i wskazanie obszarów w województwie łódzkim, wyróżniających się szczególnie wysoką i niską dostępnością dla interwencji straży pożarnej.

2. Straż pożarna w województwie łódzkim – ujęcie przestrzenne

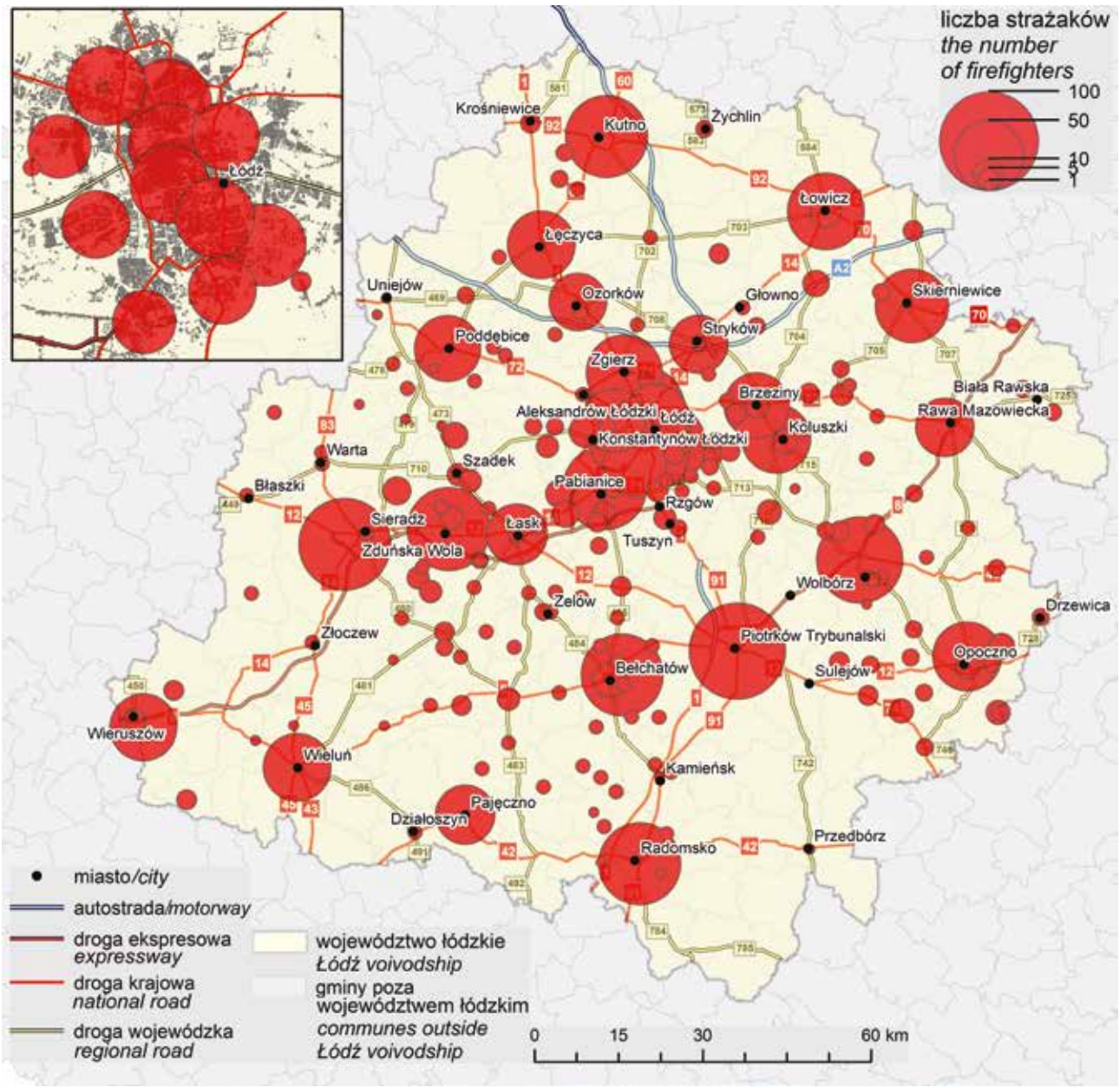
Do badania włączono lokalizacje (punkty na segmencie sieci transportowej na wysokości jednostki) wszystkich jednostek państwowej i ochotniczej straży pożarnej z województwa łódzkiego, które zostały wskazane w rejestrze jednostek współpracujących z systemem Państwowe Ratownictwo Medyczne w Planie działania systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne dla województwa łódzkiego z 23 czerwca 2015 r. [16].W regionie łódzkim funkcjonują 34 jednostki ratowniczo-gaśnicze (JRG) oraz 177 jednostek OSP. Spośród jednostek zawodowych 21 to komendy powiatowe, a pozostałe 13 to komendy miejskie w Łodzi, Piotrkowie Trybunalskim oraz Skierniewicach. Jednostki straży pożarnej zróżnicowano względem liczby służących w nich strażaków zawodowych i ochotników. Z chwilą rozpoczęcia procesu włączania jednostek OSP do KSRG (tj. od 1995 r.) wzrósł zakres działań strażaków-ochotników. Do głównych zadań realizowanych przez jednostki OSP, w tym w ramach KSRG, należą: gaszenie pożarów, ratownictwo techniczne (w szczególności na drogach), ewakuacja poszkodowanych lub zagrożonych ludzi i zwierząt oraz zagrożonego mienia, oznakowanie i zabezpieczenie miejsc prowadzenia działań ratowniczych, prowadzenie działań ratowniczych na obszarach wodnych (w tym podczas powodzi), usuwanie skutków zdarzeń (w szczególności po przejściu anomalii pogodowych) oraz udzielanie pomocy socjalnej poszkodowanym. Ochotnicze straże pożarne ściśle współpracują z jednostkami Państwowej Straży Pożarnej oraz innymi podmiotami i instytucjami w celu zapewnienia bezpieczeństwa obywateli na podległym im terenie (miasta i gminy). Wspomagają również sąsiednie obszary w ramach odwodów operacyjnych lub uzgodnień o pomocy wzajemnej. Warto zauważyć także, iż dotychczasowa dominacja problematyki zapobiegania i gaszenia pożarów w codziennej praktyce formacji ochotniczej przenosi się stopniowo na inne rodzaje ratownictwa, w tym głównie ratownictwa technicznego. Dotyczy to zdarzeń na drogach, gdzie stosowane są inne techniki prowadzenia działań ratowniczych [17]. Tak szeroki zakres działania OSP spowodował włączenie ich do badania na równi z jednostkami państwowymi. Rozmieszczenie poszczególnych jednostek straży pożarnej nawiązuje wprost do rozmieszczenia jednostek osadniczych województwa łódzkiego. Również ich ranga odpowiada funkcji administracyjnej miast regionu (ryc. 1.).

Zakładając, że straż pożarna realizuje swoje interwencje, przemieszczając się samochodem, funkcjonowanie jej systemu w województwie łódzkim należy charakteryzować w odniesieniu do systemu infrastruktury drogowej regionu. Sieć drogową stanowi 9 dróg krajowych oraz 18 wojewódzkich, tworzących układ promienisto-koncentryczny [18]. Dostępność transportowa za pomocą sieci drogowej do poszczególnych ośrodków regionu łódzkiego pozostaje nierównomierna. Jest to pochodna niezakończonego procesu inwestycyjnego (przy braku jakichkolwiek autostrad i dróg ekspresowych układ byłby koncentryczny). Po części jednak przyczyn takiego stanu rzeczy szukać należy w sformułowanych jeszcze w latach siedemdziesiątych XX w. założeniach rozwoju sieci. Przyjęty w tamtym czasie model szachownicowy sprzyja powstawaniu obszarów gorszej dostępności [19]. Warto podkreślić, iż w sieci dróg krajowych regionu łódzkiego znajdują się wszystkie komendy powiatowe i miejskie w województwie łódzkim, z wyjątkiem tych zlokalizowanych w małych ośrodkach (poniżej 15 tys. mieszkańców) jak np. Koluszki [20].
Województwo łódzkie jest względnie dobrze wyposażone w drogi publiczne o nawierzchni twardej. Sieć dróg krajowych należy do jednych z najgęstszych i najdłuższych w kraju. W regionie rozwinięta jest także sieć dróg powiatowych i gminnych, co ma kluczowe znaczenie dla funkcjonowania straży na poziomie lokalnym. Nie mniej jednak parametry tych dróg w większości są nieprzystosowane do przenoszonych obciążeń i występującego natężenia ruchu. Taka sytuacja może negatywnie oddziaływać na efektywność interwencji kierowanych np. z remiz ochotniczych straży pożarnych.

3. Dostępność przestrzenna do ludności

W celu określenia dostępności straży pożarnej do miejsc związanych z interwencjami dotyczącymi ludności województwa łódzkiego, do badania włączono liczbę mieszkańców 4965 miast i miejscowości w granicach regionu. Dla każdej z jednostek osadniczych wygenerowano punkt centralny i przypisano mu liczę mieszkańców jednostki zgodnie z danymi Ministerstwa Spraw Wewnętrznych i Administracji, Głównego Urzędu Statystycznego oraz Urzędów Miast i Gmin na koniec 2014 roku. Tak przyjęta dokładność analizy, przy założeniu regionalnej skali badania, pozwala na określenie dopasowania rozmieszczenia i wielkości jednostek straży pożarnej, do rozmieszczenia ludności regionu. W celu określenia dostępności straży pożarnej do ludności województwa łódzkiego zastosowano dwuetapową metodę określania obszarów rynkowych (2SFCA) [13], [21-23], jednak w nieznacznie zmodyfikowanej wersji. Dostępność przestrzenna określona tą metodą odnosi się zarówno do czynnika podaży (wielkość danej jednostki straży pożarnej), jak i popytu (liczba mieszkańców danego miasta/miejscowości). Metodę tę zastosowano po raz pierwszy w zakresie analiz dostępności przestrzennej rynku pracy w USA [24].

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.2



Ryc. 1. Liczba i rozmieszczenie strażaków w województwie łódzkim
Fig. 1. The number and distribution of firefighters in Łódź voivodship
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Ze względu na fakt, iż wyniki analizy dotyczą gmin województwa łódzkiego, a rozmieszczenie ludności odnosi się do poszczególnych miast i miejscowości, konieczne było określenie udziału ludności w zasięgu oddziaływania straży pożarnej, w stosunku do całkowitej liczby mieszkańców w konkretnej gminie. Zabieg ten pozwala na uszczegółowienie wyników badania, co finalnie umożliwia większe zróżnicowanie przestrzenne dostępności do ludności obszaru. Zapobiega nadmiernemu wpływaniu na końcowy wynik jednostkom o skrajnie wysokiej lub niskiej liczbie ludności na obszarze gminy. W pierwszej części dwuetapowej metody analizy obszarów rynkowych określony zastaje obszar działania każdej jednostki straży pożarnej, przyjmując graniczną wartość czasu dojazdu – 5, 15 i 30 minut. Następnie obliczany jest dla każdej jednostki indywidualny wskaźnik $POPR_j$ stanowiący iloraz wagi (liczby strażaków) poszczególnych komend oraz OSP do liczby ludzi zamieszkujących miasta i miejscowości w obszarze wyznaczonym przez daną izochronę dojazdu strażaków z konkretnej jednostki:

$$POPR_j = \frac{S_j}{\sum_{i \epsilon \{d_{pj} \leq d_{max}\}} \sum P_{pi}^{P_{pi}}}$$

gdzie:

S_j – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej j,
P_{pi} – liczba mieszkańców miejscowości p w gminie i;
d_{pj} – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej j a miejscowością p,
d_{max} – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu strażackiego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

W ten sposób obliczane jest teoretyczne obciążenie poszczególnych jednostek straży pożarnej w województwie łódzkim potencjalnymi interwencjami związanymi z bezpieczeństwem ludności. Jest to niezwykle ważny etap badania, ponieważ przyjąć należy, że strażacy interweniujący w jednym

miejscu, wyłączeni są z efektywnych działań ratowniczych w innym obszarze, co rzecz jasna obniża poziom bezpieczeństwa ludności go zamieszkującej. Kluczowa w takiej sytuacji jest koordynacja działań pomiędzy sąsiednimi jednostkami.

W drugiej części dwuetapowej metody analizy obszarów rynkowych uwaga przenosi się na gminy, w granicach których zlokalizowane są miasta i miejscowości zamieszkania osób, z którymi wiązać może się potencjalna interwencja straży pożarnej. Dla każdego centroidu miejscowości *p* w gminie *i* wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy, przy zastosowaniu przyjętej granicznej wartości czasu przejazdu wozu strażackiego. W dalszej kolejności dla każdej z gmin *i* włączonych do badania, obliczany jest wskaźnik dostępności $POPA_i$, który jest sumą wartości $POPR_j$ uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej, rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy *i*:

$$POPA_i = \sum_{j\epsilon\{d_{pj} \le d_{max}\}} POPR_j$$

W świetle tak przyjętego postępowania badawczego, przy założeniu najkrótszego czasu dojazdu straży pożarnej, wyraźnie najniższy poziom dostępności dotyczy gmin w powiatach piotrkowskim i radomszczańskim (ryc. 2A). Niepokojąca sytuacja występuje również na północy i południowym zachodzie regionu. Wydłużenie czasu dojazdu strażaków do maksimum 15 min znacznie ograniczyło liczebność gmin o najniższym poziomie dostępności (ryc. 2B). Względnie pogorszyła się jednak sytuacja kilku gmin, w tym szczególnie w powiecie sieradzkim. Wynika to wprost ze znacznie większego obciążenia zlokalizowanych tam jednostek straży przy założeniu, że interweniować będą we wszystkich miastach i miejscowościach, do których dotrą w czasie nie dłuższym niż kwadrans. Półgodzinny dojazd na interwencje związane z ludnością, jednostek z obszaru województwa łódzkiego powoduje, że jedynie gminy na jego krańcach wymagają szczególnej atencji ze strony służb ratunkowych (ryc. 3C.).

4. Dostępność do zabudowy

Aby możliwie skutecznie odtworzyć warunki funkcjonowania straży pożarnej w województwie łódzkim, do badania włączono również elementy zagospodarowania przestrzeni regionu, w związku z którymi mogą odbywać się interwencje. Analizę w tym zakresie rozpoczęto od dostępności do zabudowy. W badaniu uwzględniono wszystkie zabudowania, niezależnie od ich funkcji. Dane o ich lokalizacji oraz powierzchni zaczerpnięto z banku danych obiektów topograficznych, udostępnionego przez Wojewódzki Ośrodek Dokumentacji Geodezyjnej i Kartograficznej (WODGiK), przedstawiającego sytuację aktualną na koniec 2014 roku. Budynki zróżnicowano poprzez przypisanie im powierzchni obliczonej na potrzeby badania w programie ArcMap 10.2 w zewnętrznym obrysie obiektów (choć na potrzeby niniejszego badania lepsza byłaby, niedostępna niestety, kubatura budynku lub też powierzchnia wszystkich kondygnacji). Dla każdego budynku wygenerowano również punkt centralny, do którego w dalszej części badania wyznaczana była najszybsza ścieżka przejazdu wozu bojowego straży pożarnej. Należy w tym miejscu wskazać jedną z wad zastosowanego podejścia. Nie uwzględnia ono bowiem powierzchni ewentualnych wyższych kondygnacji oraz sposobu (jakości) jej wykorzystania. Jednak ze względu na szeroką – regionalną skalę badania, uznano, że „zważenie" obiektu wyłącznie jego powierzchnią pozwoli na realizację przyjętego celu analizy. Do określenia dopasowania lokalizacji i rangi jednostek straży pożarnej do rozmieszczenia i wielkości zabudowy województwa łódzkiego wykorzystano również dwuetapową metodę określania obszarów rynkowych. Poddano ją pewnej modyfikacji. Aby urealnić wyniki, konieczne było wprowadzenie do klasycznej formy ilorazu, który pozwalałby na przedstawienie wyników w ujęciu względnym.

Zdaniem autorów konieczne jest odniesienie liczby obiektów i powierzchni zabudowy dostępnej w danym zakresie czasowym interwencji straży pożarnej do całkowitej liczby i powierzchni budynków w danej gminie. Brak uwzględnienia powyższej zależności mógłby przynieść sytuację, w której gmina o małej łącznej powierzchni zabudowy uzyskałaby niski poziom dostępności, pomimo że wszystkie jej zabudowania są w zasięgu interwencji straży w przyjętym zakresie czasowym. Z drugiej zaś strony gmina o bardzo dużej łącznej powierzchni zabudowy uzyskałaby najwyższy poziom dostępności, chociaż w danym zakresie czasu strażacy mogą dotrzeć do dużej, choć stanowiącej niewielki udział, liczby wszystkich budynków w mieście. Zastosowana modyfikacja nawiązuje w pewnym stopniu do wprowadzonej przez A.N. Ngui i P. Apparicio [25] zoptymalizowanej formy dwuetapowej metody określania obszarów rynkowych, dla badań dostępności do służby zdrowia w Montrealu. Pierwsza część metody analizy również opiera się na określeniu obszaru działania każdej jednostki straży pożarnej, przyjmując graniczne wartości czasu dojazdu. W dalszej kolejności obliczany jest dla każdej jednostki indywidualny wskaźnik $BILR_j$ stanowiący iloraz wagi poszczególnych jednostek i powierzchni zabudowy, w obszarze wyznaczonym przez daną izochronę dojazdu wozu bojowego z konkretnej jednostki:

$$BILR_j = \frac{S_j}{\sum_{i\epsilon\{d_{bj} \le d_{max}\}} \frac{B_{bi}}{\sum B_{bi}}}$$

gdzie:

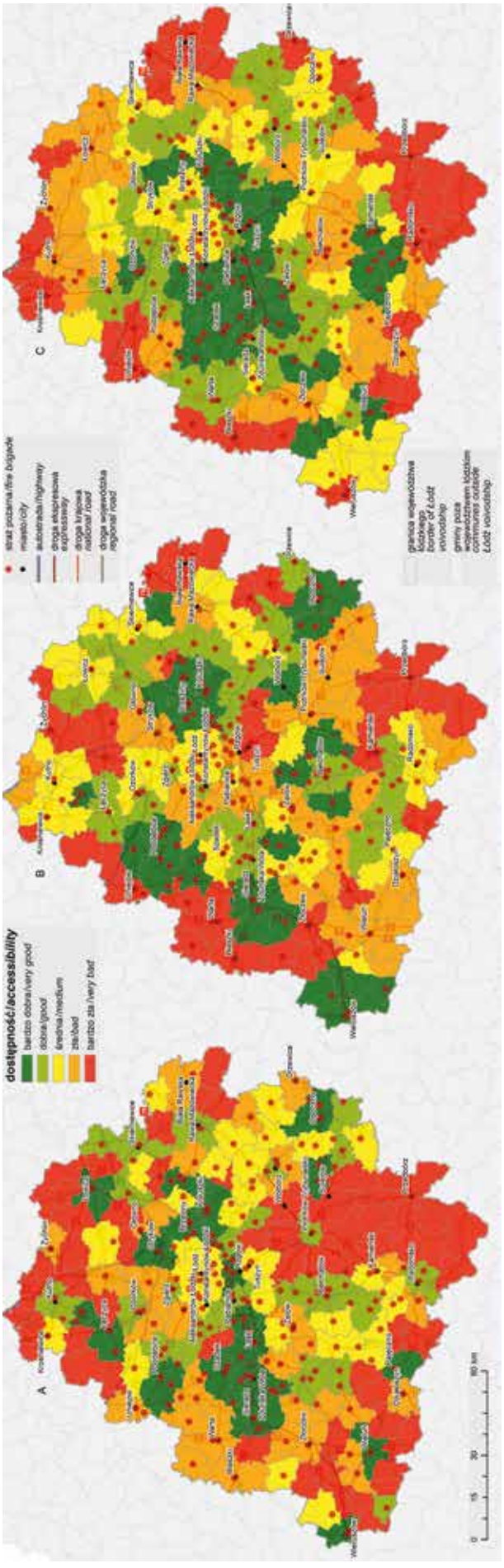
S_j – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej *j*,
B_{bi} – powierzchnia obiektu *b* w gminie *i*;
d_{bj} – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej *j* a obiektem *b* w gmie *i*,
d_{max} – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu strażackiego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

W drugiej części zaproponowanej wersji dwuetapowej metody analizy obszarów rynkowych, tak jak w jej wersji klasycznej, uwaga jest skoncentrowana na gminach, w których zlokalizowana jest zabudowa będąca przedmiotem potencjalnej interwencji strażaków. Dla każdego budynku w danej gminie wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy, za pomocą przyjętej wartości granicznej czasu przejazdu wozu bojowego. W dalszej kolejności dla każdego z budynków *b* z gminy *i* włączonej do badania, obliczany jest wskaźnik dostępności $BILA_i$, który stanowi sumę wartości $BILR_j$ uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej, rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy *i*:

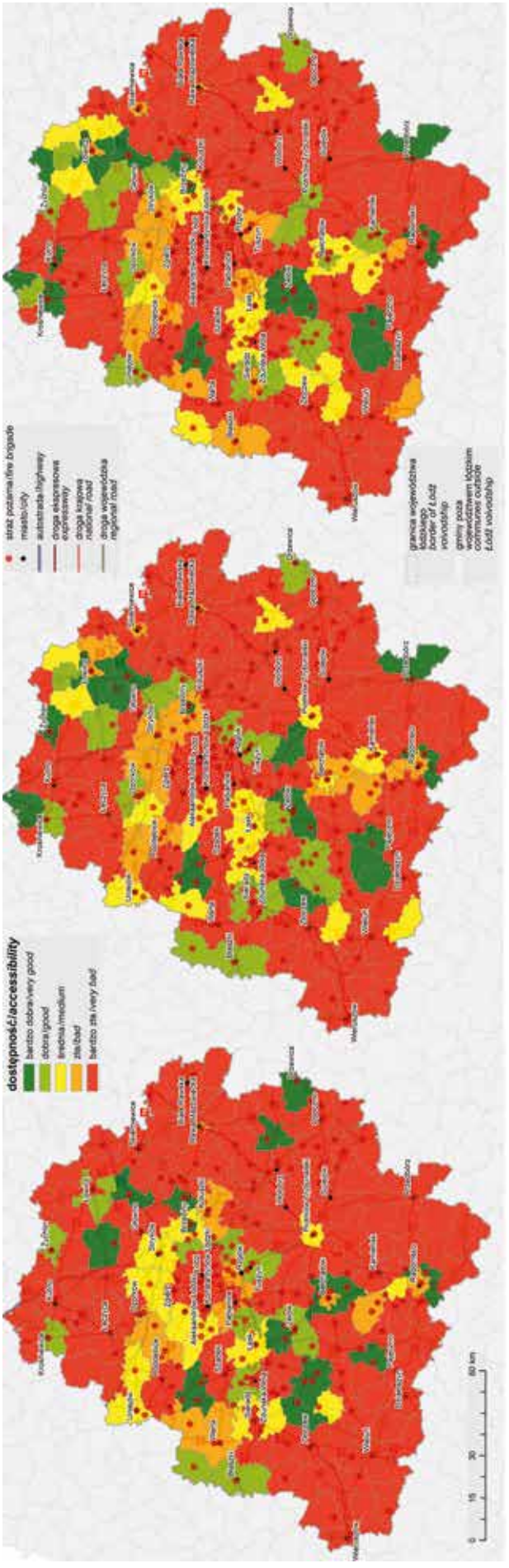
$$BILA_i = \sum_{j\epsilon\{d_{bj} \le d_{max}\}} BILR_j$$

Przeprowadzone badanie wyraźnie wskazuje, że interwencje straży pożarnej związane z ochroną zabudowań, są teoretycznie najsłabszym ogniwem ze wszystkich badanych sfer. Niezależnie od przyjętego zakresu czasowego, dostępność strażaków do zabudowy w znacznej części gmin pozostaje na bardzo niskim poziomie (ryc. 3). Przyczyn takiej sytuacji doszukiwać się można w rozmieszczeniu zabudowy. Jej znaczne rozproszenie na terenach wiejskich skutkuje trudnością dotarcia w przyjętym w badaniu zakresie czasu. Przez co tylko pewna część ogółu zabudowań w gminie pozostaje w zasięgu działań straży. Z drugiej zaś strony, w miastach nie występuje problem z dojechaniem do zabudowania (szczególnie wobec przyjętych uwarunkowań czasu przejazdu),

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.2



Ryc. 2. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do ludności województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej
Fig. 2. Spatial differentiation of access to the population of Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 3. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do zabudowy w województwie łódzkim w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej
Fig. 3. Spatial differentiation of access to buildings in Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.2

natomiast obciążenie poszczególnych jednostek jest tak znaczące, że niweluje „zyski" powstałe w związku z dobrą dostępnością transportową.

5. Dostępność do infrastruktury drogowej

Jako trzecią z płaszczyzn badania wprowadzono analizę dostępności straży pożarnej w województwie łódzkim do infrastruktury drogowej z uwzględnieniem rozmieszczenia, długości i jakości dróg w regionie. Analiza ta ma za zadanie odzwierciedlać możliwość występowania potencjalnych interwencji związanych z ratownictwem drogowym. Do badania włączono wszystkie drogi województwa łódzkiego, niezależnie od ich kategorii i klas. Dane na temat przebiegu poszczególnych odcinków infrastruktury pozyskano z Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad oddział w Łodzi oraz Zarządu Dróg Wojewódzkich w Łodzi. Uzupełniono je o dane pochodzące z zasobów jednego z najprężniej działających projektów VGI (Volunteered Geographic Information), a mianowicie OpenStreetMap (OSM) [26]. Od początku istnienia projektu kładziono szczególny nacisk na sieć drogową, co znalazło odzwierciedlenie w jego nazwie [27].

Każdą z dróg w województwie łódzkim dłuższą niż 1000 m podzielono na odcinki jednokilometrowe. Dla każdego z tych odcinków oraz tych, które nie przekroczyły 1 km, wygenerowano punkt środkowy i przypisano do niego atrybut stanowiący iloczyn długości danego odcinka i jego wagi, zgodnie z poniższym algorytmem. Przy ustalaniu wag dla infrastruktury wykorzystano informacje na temat maksymalnych dozwolonych prędkości, z jakimi można się po nich poruszać (z uwzględnieniem ograniczeń dotyczących ruchu w obszarach zabudowanych). W przypadku sieci drogowej prędkości te zaczerpnięto z ustawy o ruchu drogowym [28].

Wagi ustalano w taki sposób, że jeśli maksymalna prędkość podróży samochodu osobowego po autostradzie wynosi 140 km/h, to waga, przez którą mnożono długość danego odcinka w metrach wynosi 1,4. Dla drogi ekspresowej dwujezdniowej prędkość maksymalna wynosi 120 km/h, a więc waga wynosi 1,2. Dla drogi ekspresowej jednojezdniowej oraz drogi dwujezdniowej, co najmniej o dwóch pasach przeznaczonych dla każdego kierunku ruchu (krajowe i wojewódzkie) waga wynosi 1. Jednojezdniowe drogi krajowe i wojewódzkie były ważone wartością 0,9. Jedynie dla dróg powiatowych wartość przypisano arbitralnie w wysokości 0,6, aby odróżnić je wyraźnie od dróg krajowych i wojewódzkich. W przypadku dróg o ograniczonej dostępności, do obliczenia wskaźnika średnioważonego włączano jedynie te odcinki, na długości których znajdował się węzeł [20].

W dalszej części badania wyznaczana była najszybsza ścieżka przejazdu wozu bojowego z jednostki straży do punktu reprezentującego dany odcinek drogi. W celu urealnienia wyników konieczne było wprowadzenie do dwuetapowej metody określania obszarów rynkowych, zmodyfikowanej już na potrzeby analizy rozmieszczenia ludności czy zabudowy, zmian dotyczących ujęcia jakości poszczególnych odcinków infrastruktury drogowej. Wprowadzono więc iloczyn długości odcinka drogi i wartości reprezentującej jej wagę. Również na tej płaszczyźnie odniesiono iloczyn długości i „jakości" infrastruktury drogowej dostępnej w danym zakresie czasowym interwencji straży pożarnej do zsumowanych iloczynów dla odcinków dróg w danej gminie.

Pierwszy etap z zastosowanej metody analizy opiera się podobnie jak dwa poprzednie o określenie obszaru działania każdej jednostki straży pożarnej, przyjmując graniczą wartość czasu dojazdu. Później, dla każdej jednostki obliczany jest indywidualny wskaźnik ROAR_j, stanowiący iloraz wagi poszczególnych jednostek i ilorazu iloczynu długości i jakości danego odcinka drogi do sumy tych iloczynów dla wszystkich odcinków w danej gminie:

$$ROAR_j = \frac{S_j}{\sum_{i\epsilon\{d_{rj} \le d_{max}\}} \frac{R_{ri}W_r}{\sum R_{ri}W_r}}$$

gdzie:
S_j – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej *j*,
R_{ri} – długość odcinka drogi *r* w gminie *i*,
W_r – waga docinka drogi *r*,
d_{rj} – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej *j* a odcinkiem drogi *r* w gminie *i*,
d_{max} – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu bojowego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

W drugim etapie dla każdego odcinka drogi w danej gminie wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy, za pomocą przyjętej wartości granicznej czasu przejazdu wozu strażackiego. Następnie dla każdego z odcinków *r* z gminy *i* włączonych do badania obliczany jest wskaźnik dostępności $ROAA_i$, który stanowi sumę wartości $ROAR_j$ uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej, rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy *i*:

$$ROAA_i = \sum_{j\epsilon\{d_{rj} \le d_{max}\}} ROAR_j$$

Jak wskazuje przestrzenne zróżnicowanie dostępności działań straży pożarnej do ewentualnych zdarzeń na drogach województwa łódzkiego, szczególnie trudna sytuacja dotyczy jednostek, których działania obejmują gminy Łódzkiego Obszaru Metropolitarnego (ryc. 4). Dotarcie do miejsca interwencji na jednej z dróg regionu nie powinno stanowić problemu dla wozu strażackiego. Elementem decydującym o poziomie dostępności w tym zakresie badania jest gęstość sieci drogowej poszczególnych gmin.

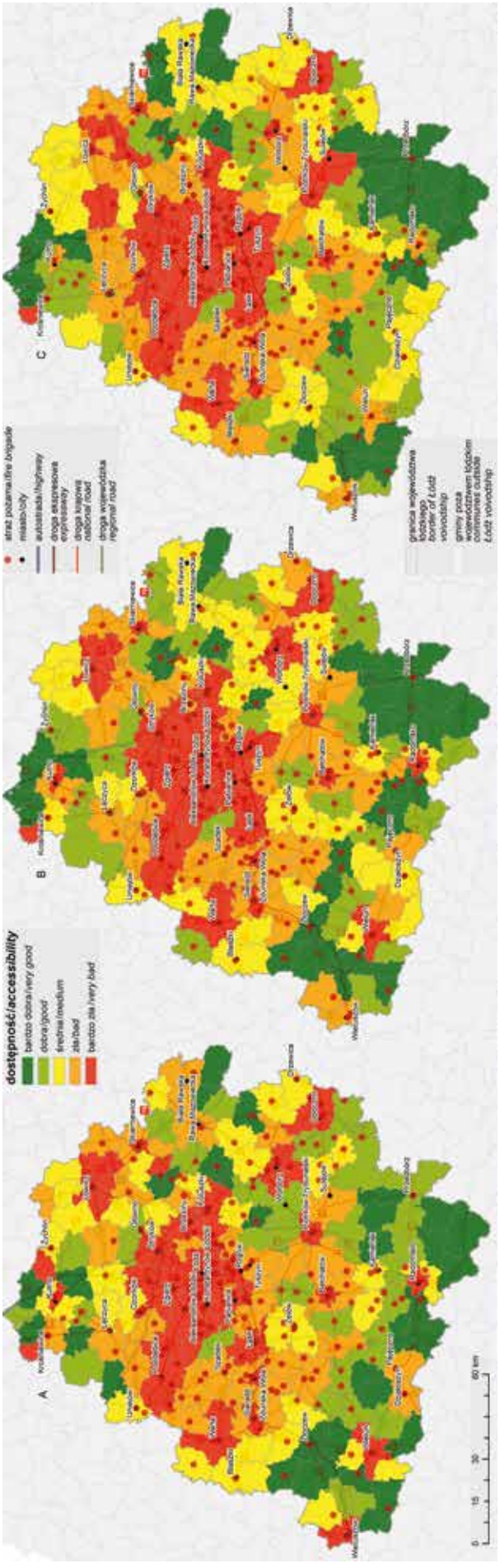
6. Dostępność do infrastruktury kolejowej

W części analizy poświęconej dostępności straży pożarnej do miejsc ewentualnej interwencji związanych z siecią kolejową, postępowanie badawcze prowadzone jest zgodnie z algorytmem przyjętym dla sieci drogowej. Jedynie wagi poszczególnych odcinków ustalono na podstawie wykazu maksymalnych prędkości dla pociągów pasażerskich, stanowiącego załącznik 2.1 do regulaminu przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rj 2013/2014 (w. 0), udostępnionego przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. [29]. W wyniku obliczeń uzyskano wskaźnik obciążenia poszczególnych jednostek straży pożarnej $RAIR_j$ oraz końcowy wskaźnik dostępności $RAIA_i$.

Po wyłączeniu z badania gmin, przez które nie przebiegają linie kolejowe, należy podkreślić znaczne zróżnicowanie przestrzenne poziomu dostępności straży pożarnej do miejsc potencjalnych interwencji związanych z infrastrukturą kolejową. Wraz z wydłużaniem maksymalnego czasu dojazdu strażaków, poziom dostępności wyraźnie wzrasta (ryc. 5). W związku z niską gęstością sieci kolejowej w regionie, coraz rozleglejszy zakres działania straży powoduje, że wzrost dostępności kolejnych jednostek jest większy niżeli przyrost ich teoretycznego obciążenia.

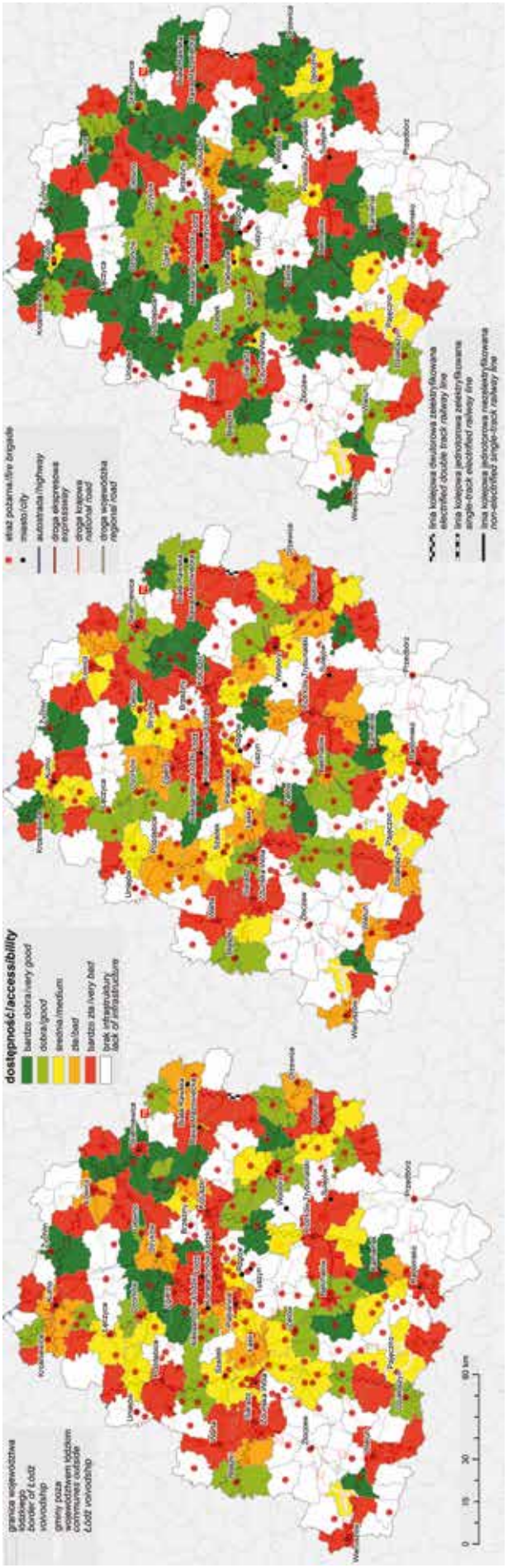
7. Dostępność do lasów

Ta płaszczyzna badania ma za zadanie wskazać poziom efektywności potencjalnych interwencji straży pożarnej związanych z pożarami lasów. Zgodnie z art. 3 ustawy o lasach [30] las jest to grunt o zwartej powierzchni co najmniej 10 arów,



Ryc. 4. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do infrastruktury drogowej województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej
Fig. 4. Spatial differentiation of access to the road infrastructure in Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.2



Ryc. 5. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do infrastruktury kolejowej województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej
Fig. 5. Spatial differentiation of access to the railway infrastructure in Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

pokryty roślinnością leśną tj. drzewami i krzewami oraz runem leśnym lub teren przejściowo tej roślinności pozbawiony. Zapisy ustawy odwołują się ponadto do kwestii funkcjonalnych, jednak w niniejszym badaniu odniesiono się do kryterium powierzchniowego. Dane o rozmieszczeniu i wielkości lasów zaczerpnięto z banku danych obiektów topograficznych. W celu określenia dostępności do lasów konieczne było także wskazanie punktu, do którego wyznaczana będzie najkrótsza ścieżka przejazdu wozu strażackiego z jednostki. Wygenerowanie jedynie punktów centralnych dla terenów zajętych przez las mogłoby znacznie zniekształcić rzeczywisty poziom dostępności. Zbytnim uproszczeniem byłoby wskazanie wyłącznie jednego punktu jako „reprezentanta" lasu o powierzchni np. 10 a i 100 ha. W związku z tym w pierwszej kolejności wybrano jedynie te grunty pokryte roślinnością leśną, których powierzchnia była nie mniejsza niż 10 a. Następnie każdy z wybranych lasów podzielono na heksagony o powierzchni 10 a. Dla każdego z nich wygenerowano punkt centralny, do którego w dalszej kolejności określany był czas przejazdu wozu bojowego straży pożarnej. „Wagę" heksagonów stanowi ich powierzchnia zajęta przez las, która znajduje się w przedziale (0, 10 a>), ponieważ w wyniku podziału na sześcioboki, pozostały obszary graniczne lasów, które jedynie w części wypełniły 10 a heksagon.

W związku z tak przyjętym algorytmem badania, obliczany jest dla każdej jednostki indywidualny wskaźnik *FORR*$_j$, stanowiący iloraz wagi poszczególnych jednostek i powierzchni heksagonów w obszarze wyznaczonym przez daną izochronę dojazdu wozu bojowego z konkretnej jednostki:

$$FORR_j = \frac{S_j}{\sum_{i\epsilon\{d_{fj} \le d_{max}\}} \frac{F_{fi}}{\sum F_{fi}}}$$

Gdzie:
S_j – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej *j*,
F_{fi} – powierzchnia heksagonu *f* w gminie *i*;
d_{fi} – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej *j* a heksagonem *f* w gminie *i*,
d_{max} – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu strażackiego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

W drugiej części metody uwaga jest skoncentrowana na gminach, w których znajdują się lasy będące przedmiotem potencjalnej interwencji strażaków. Dla każdej części lasu (heksagonu) w danej gminie wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy. W dalszej kolejności dla każdego z heksagonów *f* z gminy *i* włączonej do badania obliczany jest wskaźnik dostępności *FORA*$_i$, który stanowi sumę wartości *FORR*$_j$ uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy *i*:

$$FORA_i = \sum_{j\epsilon\{d_{fj} \le d_{max}\}} FORR_j$$

Wraz ze wzrostem dystansu do potencjalnych interwencji dotyczących pożarów lasów, zmniejsza się przestrzenne zróżnicowanie poziomu dostępności poszczególnych gmin (ryc. 6). W wariancie zakładającym dojazd na miejsce działania służby w czasie nie dłuższym niż 5 min. bardzo częste jest sąsiadowanie gmin o skrajnie różnych poziomach dostępności. Przy jeździe dłuższej o 10 i 25 min. zarysowują się części regionu, w których dominują poszczególne poziomy dostępności. Tak więc, najlepszą sytuacją charakteryzują się gminy wzdłuż dwóch równoległych stref przebiegających z północnego wschodu na południowy zachód. W leżącej pomiędzy nimi centralnej części województwa koncentrują się natomiast jednostki, których lasy pozostają najsłabiej dostępne dla działań straży pożarnej.

8. Dostępność do zbiorników i cieków

Ostatnia część badania odnosi się do zakresu działań straży pożarnej związanego z występowaniem powodzi. Ustawodawca zakłada bowiem uczestnictwo straży w prowadzeniu działań ratowniczych na obszarach wodnych, w tym podczas powodzi.

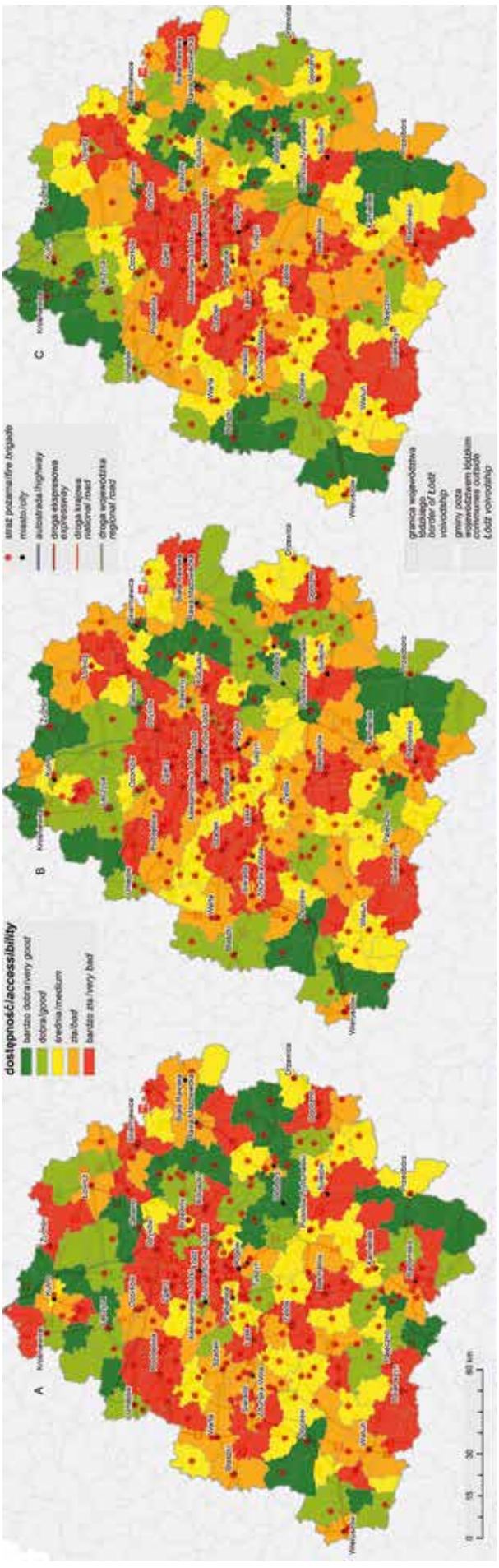
W województwie łódzkim, rzeki posiadają cechy charakterystyczne dla nizinnej części Polski. Równiny zalewowe są szerokie, co sprzyja zalewaniu sporych obszarów. Dlatego też zostały one w znacznej mierze obwałowane, a proces zasiedlania odbywa się przede wszystkim na terenach nieobjętych ochroną wałów lub w strefie zawala [31]. Na obszarze województwa łódzkiego można wyodrębnić trzy zasadnicze typy powodzi: roztopowe, zatorowe, opadowe. Powodzie roztopowe są na ogół częstsze oraz bardziej dotkliwe od pozostałych typów, ze względu na niższe temperatury. Zjawisko to jest dodatkowo wzmacniane przez zamarznięty grunt, który uniemożliwia infiltrację wody opadowej i roztopowej. Na obszarach nizinnych zasilanie ze śniegu zachodzi bardzo intensywnie, gdyż ociepleniu podlegają duże obszary.

Wezbrania zatorowe powstają także na początku wiosny. Wywoływane są spiętrzeniem wody w korycie rzeki na skutek bariery z lodu lub śryżu oraz przez nagromadzenie pni drzew albo ław trawiastych [31]. Wezbrania zatorowe mają lokalne pochodzenie i z tego względu intensywnie atakują tylko krótkie odcinki dolin. Obecnie zatory lodowe występują w regionie łódzkim na następujących rzekach: Warta, Bzura, Luciąża, Czarna Konecka, Pilica, Widawka [32]. Powodzie opadowe wywoływane są z kolei przez opady deszczu, które różnią się zarówno natężeniem, jak i zasięgiem obszarowym [33]. Wezbrania dużych rzek nizinnych narastają powoli, na co ma wpływ szeroka dolina w dolnym biegu rzeki. Im bardziej rozległe jest dorzecze, tym czas opadów musi być dłuższy, aby wywołał powódź. Powodzie opadowe występują najczęściej w dolinie Pilicy, czasem Warty oraz w mniejszych dolinach. W zlewni rzeki Warty wysoki stan wód ma miejsce najczęściej na przełomie lutego oraz marca [34], natomiast w zlewni rzeki Bzury i Pilicy w końcu marca oraz w pierwszych dniach kwietnia [32].

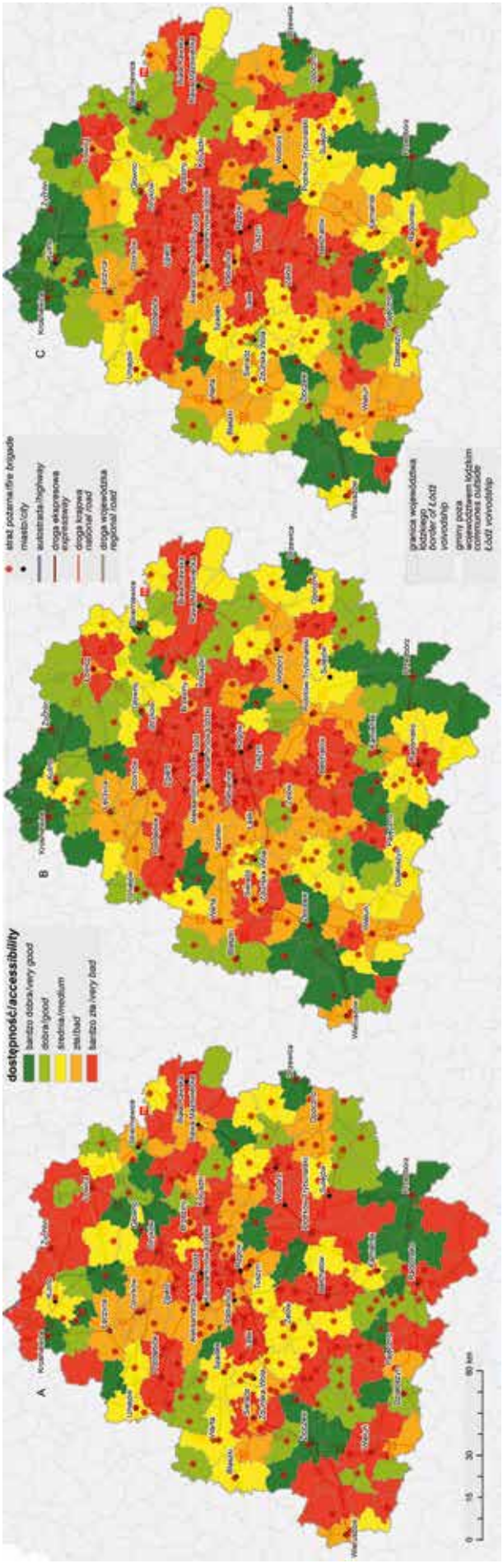
W granicach województwa łódzkiego przyczynami powodzi mogą być również awarie zbiorników wodnych [23]. Potencjalne zagrożenie, wynikające z możliwości wystąpienia uszkodzenia zapór czołowych zbiorników retencyjnych, istnieje na trzech rzekach: Warta w miejscowości Siedlątków – zbiornik Jeziorsko, Pilica w miejscowości Smardzewice – zbiornik Sulejów oraz Luciąża – zbiornik Cieszanowice [32].

W celu określenia dostępności do cieków i zbiorników wskazanych w Planie operacyjnym [32] jako potencjalne miejsca występowania powodzi, również konieczne było określenie punktu, do którego wyznaczana będzie najkrótsza ścieżka przejazdu wozu strażackiego z jednostki. Wygenerowanie jedynie punktów centralnych dla cieków i zbiorników znacznie zniekształciłoby rzeczywisty poziom dostępności. Przyjęto w związku z tym następujący algorytm postępowania. W pierwszej kolejności wybrano jedynie te cieki (lub ich odcinki) i zbiorniki, w dolinach których zgodnie z Planem operacyjnym [32] mogą wystąpić powodzie. Następnie linie wyznaczające brzeg cieku lub zbiornika podzielono na odcinki o długości 1 km. Dla każdego z nich wygenerowano punkt środkowy, do którego w dalszej kolejności określany był czas przejazdu wozu bojowego straży pożarnej. „Wagę" odcinków stanowi ich długość, która znajduje się w przedziale (0, 1 km>),

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.2



Ryc. 6. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do lasów województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej
Fig. 6. Spatial differentiation of access to forests in the Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 7. Zróżnicowanie przestrzenne dostępności do zbiorników i cieków województwa łódzkiego w zakresie 5 (A), 15 (B) i 30 (C) minut dojazdu straży pożarnej
Fig. 7. Spatial differentiation of access to reservoirs and rivers in Łódź voivodship for the arrival of the Fire Service within 5 (A), 15 (B) and 30 (C) minutes
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.2

ponieważ w wyniku podziału na 1000 m odcinki, pozostały odcinki krótsze.

W związku z tak przyjętym algorytmem badania, pierwsza część analizy opiera się na określeniu obszaru działania każdej jednostki straży pożarnej. Następnie obliczany jest dla poszczególnych jednostek indywidualny wskaźnik $WATR_j$ stanowiący iloraz wagi poszczególnych jednostek i długości odcinków w obszarze wyznaczonym przez daną izochronę dojazdu wozu bojowego z konkretnej jednostki:

$$WATR_j = \frac{S_j}{\sum_{i\epsilon\{d_{wj} \le d_{max}\}} \frac{F_{fi}}{\sum F_{fi}}}$$

Gdzie:

S_j – waga (liczba strażaków) jednostki straży pożarnej j,

W_{wi} – długość odcinka w w gminie i;

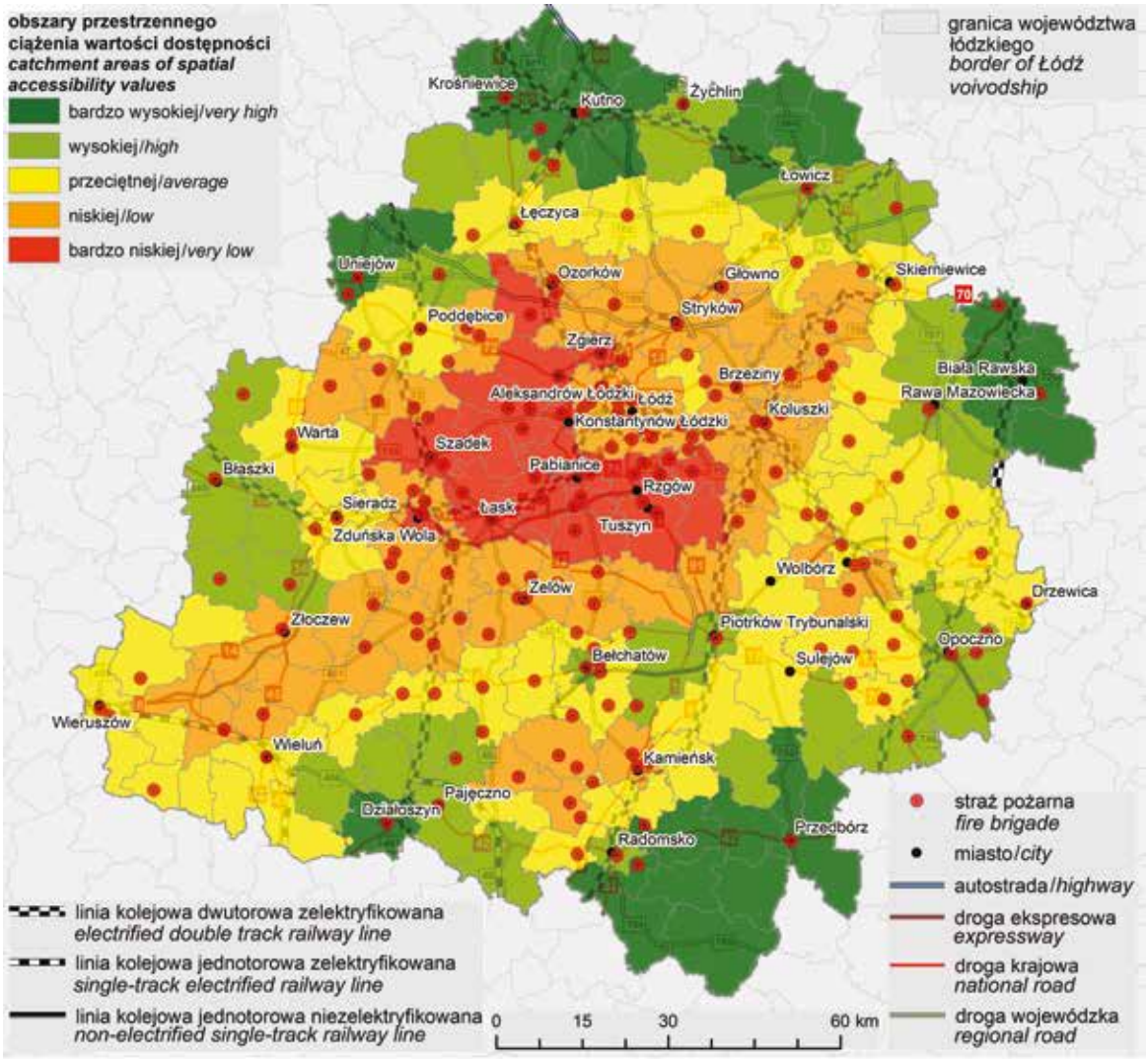
d_{wj} – czas przejazdu pomiędzy jednostką straży pożarnej j a odcinkiem w w gminie i,

d_{max} – izochrona wyznaczająca maksymalny czas dojazdu wozu strażackiego dla poszczególnych wariantów badania (5, 15 i 30 minut).

Dla każdego odcinka w danej gminie wyznaczany jest obszar, tak jak w pierwszym etapie analizy, za pomocą przyjętej wartości granicznej czasu przejazdu wozu bojowego. W dalszej kolejności dla każdego z odcinków w z gminy i włączonej do badania obliczany jest wskaźnik dostępności $WATA_i$, który stanowi sumę wartości $WATR_j$ uzyskanych dla wszystkich jednostek straży pożarnej rozmieszczonych na obszarze indywidualnego obszaru gminy i:

$$WATA_i = \sum_{j\epsilon\{d_{wj} \le d_{max}\}} WATR_j$$

Przebieg dolin rzecznych i rozmieszczenie zbiorników w województwie łódzkim w zestawieniu z rozmieszczeniem i wielkością jednostek straży pożarnej skutkuje względnym spadkiem poziomu dostępności gmin w centralnej części województwa wraz ze wzrostem maksymalnego czasu na interwencję (ryc. 7.). Ta płaszczyzna działania straży, krańcom województwa (poza wariantem dojazdu straży nie dłuższym niż 5 min) przynosi ponadprzeciętny poziom dostępności. Szczególnie „bezpieczne" pod tym względem są gminy powiatów: kutnowskiego, wieruszowskiego oraz radomszczańskiego.



Ryc. 8. Obszary przestrzennego ciążenia wartości dostępności do miejsc potencjalnej interwencji straży pożarnej w województwie łódzkim (statystyka lokalna Getisa-Orda)

Fig. 8. Catchment areas of spatial accessibility values to places of potential intervention by firefighters in the Łódź voividship (Getis-Ord local statistics)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

9. Ujęcie syntetyczne

Podstawą do określenia syntetycznego miernika dostępności straży pożarnej do miejsc potencjalnej interwencji w województwie łódzkim jest określenie odległości stanowiącej liczbę odchyleń standardowych wyników $POPA_i$, $BILA_i$, $ROAA_i$, $RAIA_i$, $FORA_i$ i $WATA_i$ od średniej dla każdej ze zmiennych. Określano, w jakim stopniu wartość cechy dla konkretnej gminy jest odstająca od średniego wyniku. W celu standaryzacji wyników przyjęto następujący wzór:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma},$$

gdzie:
Z – wynik testu Z,
x – obserwowana wartość zmiennej dla danej gminy,
μ – wartość oczekiwana, średnia,
σ – odchylenie standardowe.

Uzyskane w rezultacie powyższego przekształcenia wyniki dają znormalizowaną miarę, której wartość oczekiwana (średnia) wynosi 0, a wariancja równa jest 1. Informuje ona, na ile dany wynik jest odległy od wartości średniej.

Znormalizowane miary dla każdej z płaszczyzn badania i każdego z zakresów czasowych poddano sumowaniu i na tej podstawie wskazano obszary województwa łódzkiego, wyróżniające się skrajnie wysokim i niskim poziomem dostępności w ujęciu całościowym. Istotność zależności przestrzennych zmiennej w obrębie określonego promienia wykonano stosując miarę lokalnej autokorelacji przestrzennej zaproponowanej przez Getisa i Orda [35]. W swoich badaniach odwoływali się do niej również m.in. A. Arbia [36], S. Zhang i K. Zhang [37] czy P. Songchitruk i X. Zeng [38]. Na potrzeby niniejszego badania użyto narzędzia Analiza Hot Spot (Getis-Ord Gi*). Jest ono dostępne w programie ArcMap 10.2 w zakresie narzędzi dotyczących statystyk przestrzennych, a konkretnie odwzorowania klastrów. W formule statystyki Gi* (d), dla oceny rozmiaru i rodzaju skupienia podobnych wartości wokół danej gminy, wskazuje się na grupowanie podobnych wartości wokół niej z uwzględnieniem sumy wartości $POPA_i$, $BILA_i$, $ROAA_i$, $RAIA_i$, $FORA_i$ i $WATA_i$ zmiennych [39] mówiących odpowiednio o dostępności do ludności, zabudowy, sieci drogowej, kolejowej, lasów, cieków i zbiorników.

Kompleksowe podejście do wszystkich analizowanych sfer, w obrębie których wystąpić może interwencja straży pożarnej, wyraźnie zróżnicowało przestrzennie poziom dostępności gmin w województwie łódzkim. Teoretycznie najlepiej zabezpieczone przez działania straży pożarnej pozostają gminy przy północnej i południowej granicy regionu. Wyraźne jest pogarszanie się poziomu dostępności gmin wraz ze zmniejszaniem się ich odległości od centrum regionu. Obszar, który wymaga szczególnej atencji ze strony straży pożarnej jest jednak nieznacznie przesunięty na południowy zachód i obejmuje głównie gminy powiatów: pabianickiego i łódzkiego wschodniego (ryc. 8). Strefa obniżonej dostępności rozciąga się diagonalnie od Wieruszowa do Skierniewic, rozszerzając się na wysokości Łodzi od Poddębic do Piotrkowa Trybunalskiego.

10. Podsumowanie

Teoretyczne ujęcie działalności straży pożarnej na płaszczyźnie przestrzennej może stanowić materiał diagnostyczny, służący jako pomoc w ewentualnych działaniach mających na celu podniesienie efektywności funkcjonującego systemu straży pożarnej lub utworzeniu na problemowych obszarach nowych jednostek. Zrealizowane badania w znacznym stopniu teoretyzują wielopłaszczyznową działalność straży pożarnej i służyć mogą wyłącznie jako podstawa do pogłębionych badań. Zdaniem autorów wskazane jest zestawienie wyników powyższej analizy z analizą rozmieszczenia rzeczywistych interwencji straży pożarnej, ich rodzaju, czasu trwania czy efektywności. Takie pogłębione badanie jest szczególnie wskazane dla gmin, które uzyskały najniższy całościowy poziom dostępności. Wartościowe byłoby również przeprowadzenie osobnej analizy mającej na celu porównanie w ujęciu gminnym uzyskanych wskaźników odnoszących się do poszczególnych płaszczyzn badania oraz poziomu dostępności przestrzennej ujętej w sposób syntetyczny.

Literatura

[1] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej (Dz.U. 1991 Nr 88, poz. 400).
[2] Taylor Z. (rec.), Ryzdzykowski W., Wojewódzka-Król K. (red.), PWN, Warszawa 1997, *Transport,* „Przegląd Geograficzny" 1998, 70(3-4), 357-359.
[3] Śleszyński P., *Demograficzne i ekonomiczne aspekty lokalizacji planowanego portu lotniczego w okolicach Warszawy* (artykuł dyskusyjny), „Przegląd Komunikacyjny" 2004, 43(3), 13-19.
[4] Komornicki T., Śleszyński P., *Regionalne porty lotnicze na Mazowszu – wprowadzenie* [w]: *Studia nad lokalizacją regionalnych portów lotniczych na Mazowszu*, PAN IGiPZ, Warszawa 2009, 9-22.
[5] Domański R., *Accessibility, Efficiency and Spatial Organization*, "Environment and Planning A" 1979, 11(10), 1189-1206.
[6] Warakomska K., *Zagadnienie dostępności w geografii transportu*, „Przegląd Geograficzny" 1992, 64(1-2), 67-76.
[7] Sobczyk W., *Dostępność komunikacyjna w układach osadniczych miast*, PWN, Warszawa 1985.
[8] Baradaran S., Ramjerdi F., *Performance of Accessibility Measures in Europe*, "Journal of Transportation and Statistics" 2001, 4(2-3), 31-48.
[9] Rosik P., *Zróżnicowanie dostępności drogowej regionów Polski*, „Transport Miejski i Regionalny" 2008, nr 5, 2-8.
[10] Rosik P., *Dostępność lądowa przestrzeni Polski w wymiarze europejskim*, „Prace Geograficzne IGiPZ PAN" 2012, nr 233.
[11] Komornicki T., Śleszyński P., Rosik P., Pomianowski W., *Dostępność przestrzenna jako przesłanka kształtowania polskiej polityki transportowej,* „Biuletyn KPZK PAN" 2009, z. 241.
[12] Pietrusiewicz W., *Problemy metodyczne opracowywania map dostępności czasowej Polski*, „Przegląd Kartograficzny" 1996, 28(2), 87-99.
[13] Śleszyński P., *Dostępność czasowa i jej zastosowania*, „Przegląd Geograficzny" 2014 86(2), 171-215.
[14] Stępniak M., *Wykorzystanie metody 2SFCA w badaniach dostępności przestrzennej usług medycznych*, „Przegląd Geograficzny" 2013, 85(2), 199–218.
[15] Wiśniewski S., *Dostępność policji do miejsc potencjalnych interwencji na terenie województwa łódzkiego*, „Policja. Kwartalnik Kadry Kierowniczej Policji" 2015, nr 3.
[16] Plan działania systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne dla województwa łódzkiego z 23 czerwca 2015 r.
[17] Portal internetowy Ministerstwa Spraw Wewnętrznych, www.msw.gov.pl. [dostęp: 06.08.2015].
[18] Bartosiewicz B., Pielesiak I., *Powiązania transportowe w Łódzkim Obszarze Metropolitalnym*; „Studia KPZK PAN" 2012, t. 147, 105-137.
[19] Diagnoza Polskiego Transportu - stan w 2009 roku, Załącznik 1 do Strategii Rozwoju Transportu, Ministerstwo Infrastruktury, Warszawa 2011.
[20] Wiśniewski S., *Zróżnicowanie dostępności transportowej miast w województwie łódzkim*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015.
[21] Albert D.P., Butar F.B., *Estimating the de-designation of single-county HPSAs in the United States by counting naturopathic physicians as medical doctors*, "Applied Geography" 2005, 25, 271–285.
[22] Langford M., Higgs G., *Measuring potential access to primary healthcare services: the influence of alternative spatial representations of population,* "The Professional Geographer" 2006, 58(3), 294–306.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.2

[23] Cervigni F., Suzuki Y., Ishii T., Hata A., *Spatial accessibility to pediatric services,* "Journal of Community Health" 2008, 33, 444–448.
[24] Peng Z.R., *The jobs-housing balance and urban commuting*, "Urban Studies" 1997, 34(8), 1215-1235.
[25] Ngui A.N, Apparicio P., *Optimizing the two-step floating catchment area method for measuring spatial accessibility to medical clinics in Montreal*, "BMC Health Services Research" 2011, Vol. 11, 166.
[26] Neis P., Zielstra D., Zipf A., *The street network evolution of crowdsourced maps: OpenStreetMap in Germany 2007–2011*, "Future Internet" 2012, 4(1), 1-21.
[27] Drop P., Gajewski P., Mackiewicz M., *Zastosowanie danych OpenStreetMap oraz wolnego oprogramowania do badań dostępności komunikacyjnej w skali lokalnej*, Acta Universitatis Lodziensis, „Folia Geographica Socio-Oekonomica" 2013, 14.
[28] Ustawa z dnia 20 czerwca 1997 r. Prawo o ruchu drogowym (Dz.U. 1997 Nr 98, poz. 602).
[29] Załącznik 2.1 do regulaminu przydzielania tras pociągów i korzystania z przydzielonych tras pociągów przez licencjonowanych przewoźników kolejowych w ramach rj 2013/2014 (w. 0), udostępnionego przez PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
[30] Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach (Dz.U. 1991 Nr 101, poz. 444).
[31] Borowska-Stefańska M., *Zagospodarowanie terenów zagrożonych powodziami w województwie łódzkim*, Wydawnictwo Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź 2015.
[32] *Plan operacyjny ochrony przed powodzią dla województwa łódzkiego*, Wydział Bezpieczeństwa i Zarządzania Kryzysowego, Łódzki Urząd Wojewódzki, Łódź 2011.
[33] Więzik B., *Wpływ zagospodarowania międzywala na zagrożenia powodziowe*, [w:] B. Więzik (red.), *Prawne, administracyjne i środowiskowe uwarunkowania dolin rzecznych*, Wyższa Szkoła Administracji, Bielsko Biała, 2010, 227–242.
[34] Mikulski Z., *Charakterystyka powodzi w Polsce*, „Gospodarka Wodna" 1957, nr 9, 424-428.
[35] Getis A., Ord K., *Testing for Local Spatial Autocorrelation in the Presence of Global Spatial Autocorrelation*, "Journal of Regional Science", 2001, 41(3), 411-432.
[36] Arbia A., *The role of spatial effects in the empirical analysis of regional concentration*, "Journal of Geographical Systems", 2001, 3(3), 271-281.
[37] Zhang S., Zhang K., *Comparison between General Moran's Index and Getis-Ord General G of Spatial Autocorrelation*, "Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni" 2007, 4.
[38] Songchitruks P., Zang X., *Getis-Ord Spatial Statistics to Identify Hot Spots by Using Incident Management Data*, "Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board" 2010, 2165, 42-51.
[39] Suchecki B., *Ekonometria przestrzenna. Metody i modele analizy danych przestrzennych*, C.H. Beck, Warszawa 2010.

* * *

dr Szymon Wiśniewski – adiunkt w Instytucie Zagospodarowania Środowiska i Polityki Przestrzennej w Uniwersytecie Łódzkim. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się na badaniach dostępności, geografii transportu i logistyce. W swoich analizach wykorzystuje przede wszystkim narzędzia systemów informacji przestrzennej oraz metody z zakresu statystyki przestrzennej i ekonometrii.

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.3

mgr inż. **Urszula Garlińska**[1]
mgr inż. **Paweł Michalak**[1]
mgr inż. **Tomasz Popielarczyk**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 13.08.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 06.05.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Subiektywna ocena możliwości utraty nośności konstrukcji budowlanej w warunkach pożaru[2]

Subjective Assessment of the Potential Loss of Load-Bearing Capacity in Buildings Exposed to a Fire

Субъективная оценка возможности потери несущей способности здания в условиях пожара

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań ankietowych dotyczących subiektywnej oceny możliwości utraty nośności konstrukcji budowlanej w warunkach pożaru. Celem prowadzonych badań było udoskonalenie modelu szacującego utratę nośności przez konstrukcję budowlaną na skutek pożaru, po uwzględnieniu doświadczeń strażaków z rzeczywistych akcji ratowniczo-gaśniczych.
Metody: W celu określenia kryteriów oceny symptomów występujących podczas pożaru obiektu budowlanego przeprowadzono badania empiryczne metodą sondażu diagnostycznego, techniką ankiety. Ankieta została przeprowadzona anonimowo wśród funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej, pośród zróżnicowanej grupy respondentów (zarówno pod względem stażu pracy, jak i obszaru/regionu pełnienia służby). Taki dobór grupy badawczej pozwolił na wskazanie obszarów, na których zawalenia konstrukcji budowlanych występują najczęściej. Kwestionariusz ankiety został zweryfikowany oraz zaakceptowany przez grono doświadczonych ekspertów z zakresu inżynierii bezpieczeństwa pożarowego.
Wyniki: Przeprowadzona wśród funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej ankieta pozwala na wstępne wytypowanie występujących symptomów utraty nośności konstrukcji na skutek pożaru. Umożliwia także podjęcie dalszych działań, mających na celu uwzględnienie danych symptomów przy określaniu ryzyka utraty nośności konstrukcji. Subiektywna ocena symptomów, mogąca obniżyć ryzyko zawalenia się konstrukcji, stanowi ostatni element diagramu czynności modelu szacującego możliwość utraty nośności konstrukcji. Spośród wytypowanych symptomów ankietowani wskazali, że najczęściej przed zawaleniem się konstrukcji następowały wyboczenia elementów konstrukcji, pęknięcia ścian oraz nietypowe odgłosy (trzaski, skrzypienia). W związku z powyższym w ocenie autorów wskazane powyżej oznaki należy uwzględniać podczas szacowania możliwości utraty nośności konstrukcji budowlanej w warunkach pożaru. Ponadto biorąc pod uwagę ocenę wpływu wystąpienia potencjalnego symptomu na możliwość zawalenia się konstrukcji budowlanej w sytuacji pożaru, opartą na wiedzy i doświadczeniu respondentów, w ocenie ryzyka należy uwzględniać również wybuch, przechylenie obiektu budowlanego, objęcie płomieniami powyżej 80% powierzchni budynku oraz zawalenie dachu i stropów.
Wnioski: Wskazane przez ankietowanych symptomy odpowiadają symptomom opisanym w literaturze przedmiotu. W ocenie autorów z uwagi na coraz większą liczbę pożarów, podczas których dochodzi do zawalenia się konstrukcji obiektów budowlanych, konieczne jest prowadzenie dalszych badań w tym zakresie. Ograniczona liczebność grupy ankietowej nie pozwala na obecnym etapie prac na wyznaczenie precyzyjnych wartości wag dla wskazanych symptomów, które mogłyby zostać zaimplementowane do proponowanego modelu. W ocenie autorów, wystąpienie wymienionych powyżej symptomów powinno znacznie podwyższać wartość ryzyka. Właściwe oszacowanie ryzyka zawalenia się konstrukcji pozwoli na poprawę bezpieczeństwa ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych.

Słowa kluczowe: utrata nośności konstrukcji budowlanej, wspieranie decyzji dowódcy, działania ratowniczo-gaśnicze, bezpieczeństwo pożarowe
Typ artykułu: doniesienie wstępne

ABSTRACT

Aim: This article presents results from surveys on the subjective assessment of the potential loss of load-bearing capacity in building structures, which are exposed to a fire. The purpose of the study is to refine the model estimating the loss of load-bearing capacity of building structures by taking into account the experience of firefighting personnel, gained during firefighting operations.

[1] Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Protection – National Research Institute, Poland; tpopielarczyk@cnbop.pl;
[2] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.3

Methods: Research was performed by survey to determine the criteria for evaluating symptoms, which develop during a building fire incident. The survey was conducted anonymously among the officers of the Polish State Fire Service, within a varied group of respondents encapsulating length of experience and exposure to work in different regions. This approach facilitated the identification of regions where building structures collapsed most frequently. The questionnaire was reviewed and approved by a group of experienced specialists in the field of fire safety engineering.
Results: The survey allowed for an initial identification of symptoms associated with the loss of load-bearing capacity in structures during fire incidents**.** By taking account of initial symptoms, further action is possible at the risk determination stage of structural collapse. Subjective evaluation of symptoms, which may reduce the risk of structural collapse is the last element of the diagrammatic operations model used for estimating the potential loss of load-bearing capacity. Respondents indicated that prior to a structural collapse most frequent symptoms revealed buckling of structures, cracks in walls and unusual noises such as crackling and creaking. The authors consider that the above mentioned symptoms should be taken into account when assessing the potential loss of load-bearing capacity of building structures during fire incidents. Moreover, an explosion, tilt of a building , flames enveloping a building by more than 80% as well as roof and ceiling collapse should also be taken into account.
Conclusions: Symptoms identified by respondents match the symptoms described in literature. Because of an increase in the number of fires, where building structures have collapsed, the authors recommend further research in this area**.** The limited size of the group exposed to the survey precludes, at this stage, an allocation of precise weightings to specific symptoms, which could be incorporated within the proposed model. The authors consider that the above mentioned symptoms, if present, would significantly increase the measure of risk level. Proper risk assessment of potential construction failure will improve the safety of rescuers involved in firefighting operations.

Keywords: loss of load-bearing capacity, support the commander's decision, fire and rescue operations, fire safety
Type of article: short scientific report

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель данной статьи состоит в представлении результатов опроса относительно субъективной оценки возможной потери несущей способности строительной конструкции в условиях пожара. Цель исследования заключалась в усовершенствовании модели оценки возможной потери несущей способности строительной конструкции в результате пожара, принимая во внимание опыт пожарных во время реальных аварийно-спасательных действий.
Методы: Для того, чтобы определить критерии оценки симптомов, появляющихся во время пожара строительной конструкции, были проведены эмпирические исследования методом диагностического обследования с помощью опроса. Опрос проводился анонимно среди сотрудников Государственной противопожарной службы в различных группах респондентов (как с точки зрения профессионального опыта, так и региона, в котором служат). Такой выбор исследовательской группы позволил выявить области, где наиболее часто происходят обвалы зданий. Опрос был рассмотрен группой опытных специалистов в области пожарной инженерии.
Результаты: Опрос, проведенный среди сотрудников Государственной противопожарной службы, позволяет предварительно определить симптомы потери несущей способности конструкции в результате пожара. Это позволяет принять дальнейшие меры, направленные на устранение данных симптомов при определении риска потери несущей способности здания. Субъективная оценка симптомов, которая могла бы снизить риск обвала конструкции, является последним элементом диаграммы оценочной модели возможной потери несущей способности конструкции. Среди выбранных симптомов респонденты указали, что наиболее часто перед обвалом конструкции появлялись деформации элементов конструкции, трещины в стенах и нетипичные звуки (трески, скрипы). Поэтому, по мнению авторов, упомянутые выше симптомы следует принимать во внимание при оценке возможности утраты несущей способности конструкции в случае пожара. Кроме того, принимая во внимание также оценку влияния потенциального симптома на возможности обвала конструкции здания в случае пожара, основанную на знаниях и опыте респондентов, следует учитывать также взрыв, наклон здания, если охват пламенем более 80% поверхности здания, а также обвал крыш и потолков.
Выводы: Указанные респондентами симптомы согласуются с симптомами, описанными в предметной литературе. По мнению авторов статьи необходимо провести дальнейшие исследования в этой области в связи с увеличением количества пожаров, во время которых происходит обвал зданий. Ограниченное число респондентов не позволяет на данном этапе работ определить весомость данных специфических симптомов, которые могли бы быть внедрены в предложенную модель. По мнению авторов присутствие указанных выше симптомов должно значительно увеличивать значение риска. Правильная оценка риска обвала конструкции позволит повысить безопасность спасателей, участвующих в спасательно-гасящих действиях.

Ключевые слова: потеря несущей способности, спасательно-гасящие действия, пожарная безопасность
Вид статьи: предварительный отчет

1. Wprowadzenie

W artykule *Szacowanie możliwości utraty nośności konstrukcji budowlanej w warunkach pożaru* [1] przedstawiono koncepcję modelu szacowania możliwości utraty nośności przez konstrukcję budowlaną na skutek pożaru. Uwzględniono w niej wymagania krajowych przepisów w zakresie ochrony przeciwpożarowej obiektów budowlanych. W wyniku prowadzonych analiz zwrócona zostaje wartość (od 1 do 5) określająca ryzyko utraty nośności konstrukcji w warunkach pożaru. Nośność konstrukcji, zdefiniowaną jako „zdolność do przejęcia oddziaływań" [2], na potrzeby prowadzonych prac odniesiono do całego obiektu budowlanego (a nie do jego poszczególnych elementów). W niniejszym artykule przedstawiono wyniki działań prowadzonych w celu ewaluacji wcześniej omówionego modelu.

Zaproponowaną koncepcję opracowano w ramach realizacji projektu „Nowoczesne narzędzia inżynierskie do wspomagania decyzji przeznaczone dla dowódców podczas działań ratowniczo-gaśniczych PSP w obiektach budowlanych" finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (DOBR/0010/R/ID1/2013/03). Celem projektu było wykonanie zaawansowanego narzędzia teleinformatycznego, które będzie dostarczać dowódcy akcji ratowniczo-gaśniczej różnorodnych danych wspomagających proces podejmowania decyzji. W artykule omówiono częściowe założenia jednego z modeli.

2. Metody

Zespół autorów w zaproponowanym na wcześniejszym etapie prac modelu wskazał możliwość korekcji obliczonego ryzyka poprzez dokonanie subiektywnej oceny symptomów pożaru obiektu budowlanego. W celu określenia kryteriów

przeprowadzenia oceny symptomów wykonano badania empiryczne metodą sondażu diagnostycznego, którego wyniki przedstawiono poniżej.

Badanie przeprowadzono techniką ankiety. Opracowano kwestionariusz ankiety „Oznaki zawalenia konstrukcji budowlanej na skutek działania pożaru", który został umieszczony na stronie internetowej http://goo.gl/forms/c89aGdxXiu. Jako obszar badań przyjęto wybrane jednostki Państwowej Straży Pożarnej. Ankieta została przeprowadzona anonimowo wśród funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej, wśród zróżnicowanej (zarówno pod względem stażu pracy, jak i obszaru/regionu pełnienia służby) grupy respondentów. Taki dobór grupy badawczej pozwolił na wskazanie obszarów, na których zawalenia konstrukcji budowlanych występują najczęściej. Doboru reprezentatywnej próby badawczej dokonano zgodnie z typem doboru tzw. próbą celową [3]. Do obliczenia minimalnej liczebności próby badawczej można wykorzystać poniższy wzór [4]:

$$n_b = \frac{N}{1 + \left(\frac{4d \cdot (N-1)}{Z^2}\right)}$$

gdzie:

n_b - niezbędna próba,

N - liczebność populacji,

d - dopuszczalny błąd szacunku frakcji,

Z - wartość standardowa dla założonego poziomu istotności.

Dobór próby badawczej ma na celu wyznaczenie tendencji i zależności niezbędnych do prowadzenia dalszych badań.

Kwestionariusz ankiety został zweryfikowany oraz zaakceptowany przez grono doświadczonych ekspertów z branży bezpieczeństwa pożarowego.

Badanie zostało podzielone na trzy główne części. Na pierwszym etapie zadaniem ankietowanych było wskazanie lat służby i nazwy województwa, w której ją pełnią. Ankietowani wskazywali także liczbę akcji, w których brali udział i podczas których doszło do zawalenia się konstrukcji budowlanej na skutek pożaru. Ankietowani, którzy nie zadeklarowali udziału w żadnej akcji, w której doszło do zawalenia, nie byli objęci drugą częścią ankiety.

Respondenci, którzy choć raz byli świadkami takiej sytuacji, mieli za zadanie wskazać oznaki poprzedzające zawalenie wraz z częstością ich wystąpienia (w odniesieniu do zdarzeń, których byli uczestnikami). Wskazano 6 symptomów (wystąpienie eksplozji (wybuchów), pęknięcia ścian, wyboczenia elementów konstrukcji, przechylenie konstrukcji obiektu budowlanego, nietypowe odgłosy (trzaski, skrzypienie itp.), wydobywanie się wody lub dymu ze spoin), dla których należało określić, czy występowały zawsze, często, sporadycznie, czy nigdy. W tej części badania, respondenci mieli także możliwość wskazać i opisać innego zaobserwowanego symptomu, niewyszczególnionego w badaniu.

W ostatniej części ankiety (w której brali udział wszyscy respondenci), na podstawie swojej wiedzy i doświadczenia, ankietowani mieli za zadanie ocenić znaczenie wystąpienia różnych symptomów w kontekście ryzyka zawalenia się konstrukcji budowlanej. Przyjęto pięciostopniową skalę odpowiedzi (od 1 – nie ma znaczenia do 5 – pewność, że konstrukcja zwali się) dla symptomów:

- ciągły wypływ dymu,
- pulsujący wypływ dymu,
- wypływ dymu przez małe szczeliny w konstrukcji,
- wypływ wody przez małe szczeliny w konstrukcji,
- pęknięcia ścian,
- zawalenie dachu,
- zawalenie stropów,
- wysoka temperatura ścian,
- wysoka temperatura okien,
- przechylenie obiektu budowlanego,
- wybuch (eksplozja),
- nietypowe odgłosy,
- objęcie płomieniami 50-80% powierzchni budynku,
- objęcie płomieniami powyżej 80% powierzchni budynku,
- wyboczenie elementu konstrukcji.

3. Wyniki

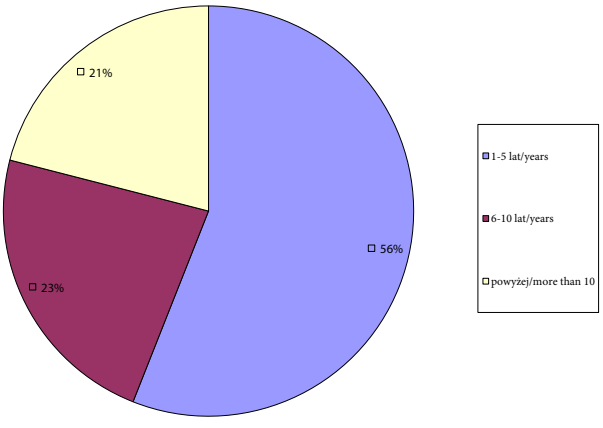
W trakcie badań uzyskano 43 ankiety. Na obecnym etapie prowadzonych badań otrzymaną liczbę arkuszy uznaje się za miarodajną i wystarczającą. Po przeprowadzeniu ankiety wyniki zostały poddane analizie pod względem jakościowym oraz ilościowym.

Zestawienie funkcjonariuszy ze względu na długość okresu służby przedstawiono w tabeli 1 i na ryc. 1.

Tabela 1. Lata służby
Table 1. Years of service

Długość służby/ Length of service	**Osoby / Personnel**	
[lat] / [years]	**[liczba] / [number]**	**[%]**
1	9	21%
2	7	16%
3	5	12%
4	1	2%
5	2	5%
6	4	9%
7	0	0%
8	1	2%
9	3	7%
10	2	5%
> 10	9	21%
Ogółem / Total	**43**	**100%**

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 1. Lata służby
Fig. 1. Years of service
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Wśród ankietowanych przeważali funkcjonariusze ze stażem od 1 do 5 lat, którzy stanowili 56% wszystkich respondentów. Kolejną grupę – 23% ankietowanych stanowili funkcjonariusze ze stażem pracy 6-10 lat. Natomiast najmniej liczną – 21% – osoby, których okres służby był dłuższy niż 10 lat.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.3

Zróżnicowanie względem liczby akcji ratowniczych, w których nastąpiło zawalenie się konstrukcji obiektu budowlanego na skutek działania pożaru przedstawiono w tabeli 2 i na ryc. 2.

Wśród ankietowanych najliczniejszą grupę – 28% stanowiły osoby, które nie uczestniczyły w akcjach ratowniczo-gaśniczych, w których nastąpiło zawalenie się konstrukcji na skutek pożaru. Należy zauważyć również, że są to w zdecydowanej większości – w 75% osoby ze stażem pracy wynoszącym od 1-5 lat. Natomiast funkcjonariusze, którzy w przebiegu kariery zawodowej obserwowali zawalenie się konstrukcji na skutek pożaru ponad 5 razy stanowią 21% wszystkich respondentów. Wśród tych osób przeważająca grupa – 67% – to osoby ze stażem pracy powyżej 10 lat.

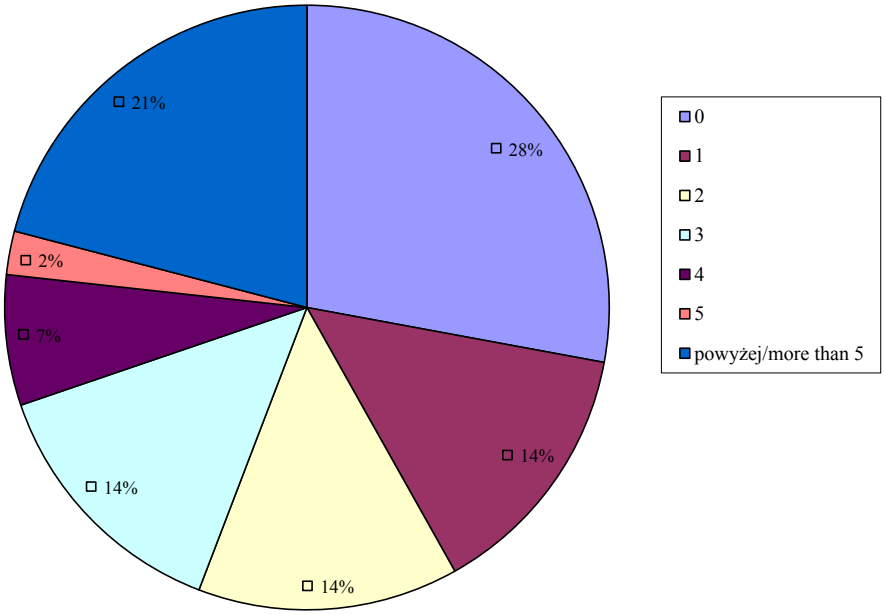
Zadaniem ankietowanych, którzy w karierze zawodowej byli świadkami zawalenia się konstrukcji, było również określenie częstotliwości występowania następujących symptomów:

- pęknięć ścian,
- eksplozji (wybuchów),
- wyboczenia elementów konstrukcji,
- przechylenia obiektu budowlanego,
- nietypowych odgłosów (trzasków, skrzypień),
- wydobywania się wody lub dymu ze spoin.

Tabela 2. Akcje ratowniczo-gaśnicze, w których nastąpiło zawalenie się konstrukcji obiektu budowlanego na skutek działania pożaru
Table 2. Firefighting incident involving structural collapse of a building as a result of a fire

Akcje, w których doszło do zawalenia się konstrukcji Firefighting incident	**Osoby Personnel**			**Długość służby Years of work**		
[liczba] [quantity]	**[liczba] [number]**	**[%]**		**1-5 lat/years**	**6-10 lat/years**	**powyżej 10 lat/ more than 10 years**
0	12	28%	w tym / including	75%	17%	8%
1	6	14%		83%	17%	0%
2	6	14%		83%	17%	0%
3	6	14%		50%	17%	33%
4	3	7%		33%	67%	0%
5	1	2%		100%	0%	0%
Powyżej/More than 5	9	21%		0%	33%	67%

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

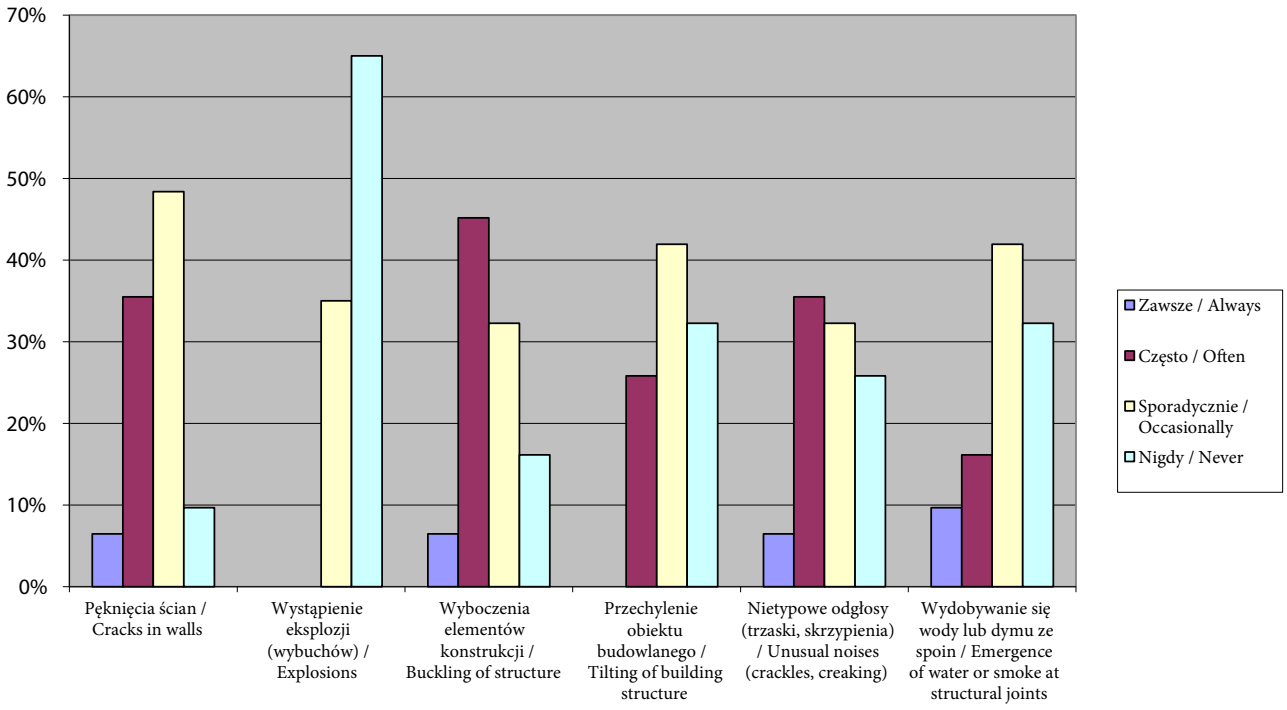


Ryc. 2. Akcje ratowniczo-gaśnicze, w których nastąpiło zawalenie się konstrukcji obiektu budowlanego na skutek działania pożaru
Fig. 2. Firefighting operation involving structural collapse of a building as a result of a fire
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 3. Częstotliwość występowania symptomów poprzedzających zawalenie się konstrukcji budowlanej na skutek działania pożaru
Table 3. Symptoms manifestation frequency prior to the collapse of the building structure as a result of a fire

Oznaki poprzedzające zawalenie się konstrukcji budowlanej na skutek działania pożaru / Indications preceding the collapse of a building structure caused by a fire	**Zawsze / Always**		**Często / Often**		**Sporadycznie / Occasionally**		**Nigdy / Never**	
	[liczba] [frequency]	**[%]**	**[liczba] [frequency]**	**[%]**	**[liczba] [frequency]**	**[%]**	**[liczba] [frequency]**	**[%]**
Pęknięcia ścian / Cracks in walls	2	6%	11	35%	15	48%	3	10%
Eksplozje (wybuchy) / Explosions	0	0%	0	0%	11	35%	20	65%
Wyboczenia elementów konstrukcji / Buckling of structure	2	6%	14	45%	10	32%	5	16%
Przechylenie obiektu budowlanego / Tilting of building structure	0	0%	8	26%	13	42%	10	32%
Nietypowe odgłosy (trzaski, skrzypienia) / Unusual noises (crackles, creaking)	2	6%	11	35%	10	32%	8	26%
Wydobywanie się wody lub dymu ze spoin / Emergence of water or smoke at structural joints	3	10%	5	16%	13	42%	10	32%

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 3. Częstotliwość występowania symptomów poprzedzających zawalenie się konstrukcji budowlanej na skutek działania pożaru
Fig. 3. Symptoms manifestation frequency prior to the collapse of the building structure, caused by a fire
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.3

Pęknięcia ścian jako symptom zawsze wskazujący na zawalenie się konstrukcji wskazało 6% ankietowanych. Jako częsty – 36%, sporadyczny – 48%, natomiast nigdy niewystępujący – 10% ogólnej liczby ankietowanych. Eksplozje oraz wybuchy nie zostały zaobserwowane nigdy lub zostały obserwowane sporadycznie odpowiednio przez 65% i 35% funkcjonariuszy, którzy w swojej karierze zawodowej byli świadkami zawalenia się konstrukcji. Wyboczenia elementów konstrukcji jako symptom zawsze poprzedzający zawalenie konstrukcji wskazało 6% ogólnej liczby ankietowanych. Natomiast jako częsty, sporadyczny i nigdy niewystępujący określiło go odpowiednio 46%, 32% i 16% ankietowanych. Przechylenie obiektu budowlanego jako symptom zawsze wskazujący na możliwość zawalenia się konstrukcji nie został wskazany przez żadnego z ankietowanych. Jako częsty symptom uznało go 26% badanych, sporadyczny – 42%, nigdy niewystępujący – 32%. Z ogółu ankietowanych 6% wskazało, że nietypowe odgłosy podczas pożarów są zawsze symptomem zawalenia się konstrukcji, 35% – uznało je za symptom pojawiający się często, 33% za sporadyczny, natomiast 26% ankietowanych wskazało, że symptom ten nigdy nie występuje przy zawaleniach. 10% ogólnej liczby ankietowanych wskazało, że wydobywanie się wody lub dymu ze spoin zawsze zapowiada zawalenie się konstrukcji, często – 16%, sporadycznie – 42%, natomiast nigdy – 32% ankietowanych.

Ankietowani zwrócili uwagę również na inne czynniki, które zdarzyło im się obserwować i które w konsekwencji ocenili jako oznaki zawalenia się konstrukcji budowlanej:

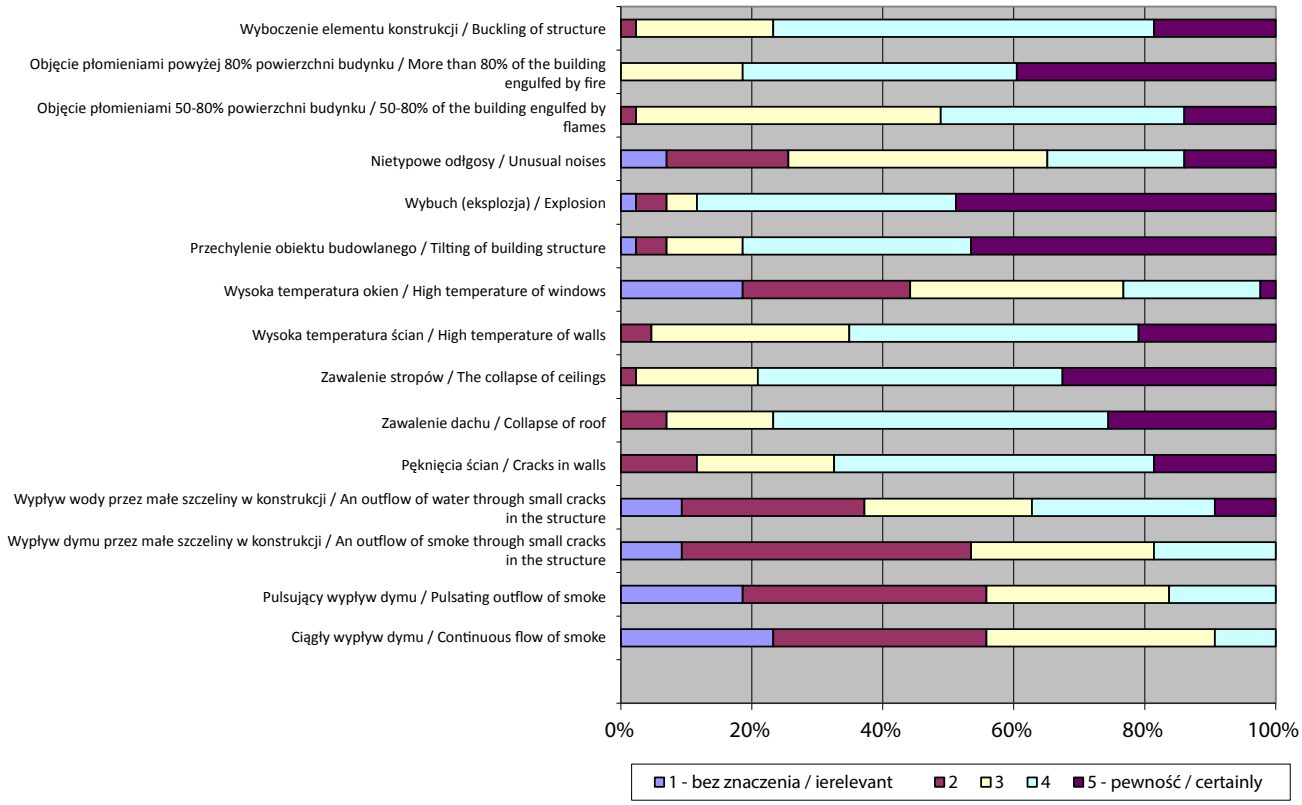
- odpadanie powierzchni izolacyjnych i powierzchni lakierniczych,
- przepalenie konstrukcji dachu.

Zadaniem ankietowanych była również ocena (na podstawie posiadanej wiedzy i zdobytego doświadczenia) wpływu wystąpienia potencjalnego symptomu na możliwość zawalenia się konstrukcji budowlanej w sytuacji pożaru. Ocena polegała na oszacowaniu znaczenia danego symptomu na zawalenie się konstrukcji budowlanej na skutek pożaru. Respondenci określali wpływ zaobserwowania danego symptomu za pomocą pięciostopniowej skali 1-5, gdzie 1 oznaczało „nie ma znaczenia", natomiast 5 – „pewność zawalenia konstrukcji".

Tabela 4. Ocena wpływu wystąpienia symptomu na możliwość zawalenia się konstrukcji budowlanej w sytuacji pożaru
Table 4. Assessment of the impact caused by symptom on the likelihood of a building structure collapse during a fire

Ocena wpływu wystąpienia symptomu / Assessment of the impact caused by symptoms	**1 nie ma znaczenia / irrelevant**		**2**		**3**		**4**		**5 pewność zawalenia się konstrukcji / certainly of structural collapse**	
	[liczba] [frequency]	**[%]**	**[liczba] [frequency]**	**[%]**	**[liczba] [frequency]**	**[%]**	**[liczba] [frequency]**	**[%]**	**[liczba] [frequency]**	**[%]**
Ciągły wypływ dymu / Continuous outflow of smoke	10	23%	14	33%	15	35%	4	9%	0	0%
Pulsujący wypływ dymu / Pulsating outflow of smoke	8	19%	16	37%	12	28%	7	16%	0	0%
Wypływ dymu przez małe szczeliny w konstrukcji / An outflow of smoke through small cracks in the structure	4	9%	19	44%	12	28%	8	19%	0	0%
Wypływ wody przez małe szczeliny w konstrukcji / An outflow of water through small cracks in the structure	4	9%	12	28%	11	26%	12	28%	4	9%
Pęknięcia ścian / Cracks in walls	0	0%	5	12%	9	21%	21	49%	8	19%
Zawalenie dachu / Collapse of roof	0	0%	3	7%	7	16%	22	51%	11	26%
Zawalenie stropów / The collapse of ceilings	0	0%	1	2%	8	19%	20	47%	14	33%
Wysoka temperatura ścian /High temperature of walls	0	0%	2	5%	13	30%	19	44%	9	21%
Wysoka temperatura okien /High temperature of windows	8	19%	11	26%	14	33%	9	21%	1	2%
Przechylenie obiektu budowlanego / Tilting of building structure	1	2%	2	5%	5	12%	15	35%	20	47%
Wybuch (eksplozja) / Explosion	1	2%	2	5%	2	5%	17	40%	21	49%
Nietypowe odgłosy / Unusual noises	3	7%	8	19%	17	40%	9	21%	6	14%
Objęcie płomieniami 50-80% pow. Budynku / 50-80% of the building engulfed by flames	0	0%	1	2%	20	47%	16	37%	6	14%
Objęcie płomieniami powyżej 80% pow. Budynku / More than 80% of the building engulfed by fire	0	0%	0	0%	8	19%	18	42%	17	40%
Wyboczenie elementu konstrukcji / Buckling of structure	0	0%	1	2%	9	21%	25	58%	8	19%

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 4. Ocena wpływu wystąpienia symptomu na możliwość zawalenia się konstrukcji budowlanej w sytuacji pożaru
Fig. 4. Assessment of the impact caused by symptom on the likelihood of a building structure collapse during a fire
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Według 49% ankietowanych funkcjonariuszy symptom w postaci wybuchu lub eksplozji będzie w konsekwencji skutkował zawaleniem się obiektu budowlanego. Według 47% ankietowanych zawalenie się obiektu poprzedza jego przechylenie. Natomiast 40% ankietowanych twierdzi, że zawaleniem skutkować będzie objęcie płomieniami powyżej 80% powierzchni budynku. Natomiast symptomy w postaci pulsującego wypływu dymu ciągłego wypływu dymu, wypływu dymu przez małe szczeliny w konstrukcji odpowiednio dla 19%, 23%, 9% ankietowanych nie mają znaczenia dla utrzymania nośności obiektu budowlanego.

4. Dyskusja nad metodami i wynikami

Przeprowadzona ankieta wśród funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej umożliwiła wstępne wytypowanie symptomów utraty nośności konstrukcji na skutek pożaru. Dzięki temu możliwe jest podjęcie dalszych działań, mających na celu uwzględnienie ich przy określaniu ryzyka utraty nośności przez konstrukcję.

Subiektywna ocena symptomów mogąca obniżyć ryzyko zawalenia konstrukcji stanowi ostatni element diagramu czynności modelu szacującego możliwość utraty nośności przez konstrukcję, który zaproponowano we wcześniejszych etapach prac [1].

Funkcjonariusze, którzy w swojej karierze zawodowej byli świadkami zawalenia się konstrukcji co najmniej raz (72% ankietowanych) wskazali, że najczęściej przed zawaleniem się konstrukcji następowały wyboczenia jej elementów, pęknięcia ścian oraz nietypowe odgłosy, takie jak trzaski, skrzypienia (tabela 3). Stąd też w ocenie autorów publikacji wskazane powyżej symptomy należy bezwzględnie uwzględniać podczas szacowania możliwości utraty nośności konstrukcji budowlanej w warunkach pożaru.

Ponadto biorąc pod uwagę ocenę wpływu wystąpienia potencjalnego symptomu na możliwość zawalenia się konstrukcji budowlanej w sytuacji pożaru, opartą na wiedzy i doświadczeniu respondentów (tabela 4), w analizie należy uwzględniać również wybuch, przechylenie obiektu budowlanego, objęcie płomieniami powyżej 80% powierzchni budynku oraz zawalenie dachu i stropów.

5. Wnioski

Wskazane przez ankietowanych symptomy są zgodne z symptomami opisanymi w literaturze przedmiotu [5-7]. W ocenie autorów publikacji konieczne jest prowadzenie dalszych badań w tym zakresie, z uwagi na coraz większą liczbę pożarów, podczas których dochodzi do zawalenia się konstrukcji obiektów budowlanych. Ograniczona wielkość grupy ankietowej nie pozwala na obecnym etapie prac na wyznaczenie precyzyjnych wartości wag dla wskazanych symptomów, które mogłyby zostać zaimplementowane do proponowanego modelu [1]. W ocenie autorów wystąpienie wymienionych wyżej symptomów powinno znacznie podwyższać zwracaną przez model [1] wartość ryzyka. W sytuacji, gdy podczas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych dane symptomy nie są obserwowane, zwracana wartość określająca ryzyko zawalenia się konstrukcji może zostać nieznacznie obniżona. Niezbędne jest jednak prowadzenie dalszych badań, które swoim zasięgiem obejmą większą liczbę funkcjonariuszy. Pozwolą one na dokonanie hierarchizacji symptomów. Właściwe oszacowanie ryzyka zawalenia konstrukcji przyczyni się do poprawy bezpieczeństwa ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.3

Artykuł powstał w ramach projektu nr DOBR/0010/R/ID1/2013/03 pt. „Nowoczesne narzędzia inżynierskie do wspomagania decyzji przeznaczone dla dowódców podczas działań ratowniczo-gaśniczych PSP w obiektach budowlanych" finansowanego przez NCBR.

Literatura

[1] Garlińska U., Michalak P., Popielarczyk T., *Szacowanie możliwości utraty nośności konstrukcji budowlanej w warunkach pożaru*, BiTP Vol. 39 Issue 3, 2015, pp. 59–66.
[2] PN-EN 1991-1-2:2006 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
[3] Babbie E., *Podstawy badań społecznych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2004.
[4] Brzeziński J., *Metodologia badań psychologicznych*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2012.
[5] Poremba J., *Building Collapse: Learn the Warning Signs* [dok. elektr.], http://www.firerescue1.com/firefighter-safety/articles/458061-Building-Collapse-Learn-the-Warning-Signs/ [dostęp: 29.01.2015].
[6] Robertson H., *Establishing Collapse Zones at Structure Fires* [dok. elektr.], http://www.firefighternation.com/article/special-operations/establishing-collapse-zones-structure-fires [dostęp: 29.01.2015].
[7] Brennan T., *The signs of impending building collapse* [dok. elektr.], http://www.fireengineering.com/articles/print/volume-153/issue-7/departments/random-thoughts/the-signs-of-impending-building-collapse.html [dostęp: 29.01.2015]

* * *

mgr inż. Urszula Garlińska – absolwentka Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego i Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz studiów podyplomowych na Politechnice Warszawskiej i Wyższej Szkoły Informatyki i Zarządzania w Rzeszowie. Od 2013 roku pracownik Zespołu Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej CNBOP-PIB, w którym zajmuje się badaniami kwalifikacyjnymi elementów dźwiękowych systemów ostrzegawczych.

mgr inż. Paweł Michalak – absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej oraz Podyplomowych Studiów Zarządzania Projektami Szkoły Głównej Handlowej w Warszawie.

mgr inż. Tomasz Popielarczyk – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Od początku swojej pracy zawodowej związany z Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej, jako pracownik Zespołu Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej. Od 2013 roku pełni funkcję zastępcy kierownika Zespołu Laboratoriów.

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.4

канд. техн. наук **Ковалев А.И./ Kovalev A.I.**, Ph.D. [1]
Зобенко Н.В. / Zobenko N.V.[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 03.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 16.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Исследование точности определения параметров огнезащитных покрытий металлических конструкций[1]

Testing the Accuracy of Designating the Parameters of Intumescent Coatings of Metal Constructions

Badanie dokładności określenia parametrów powłok ogniochronnych konstrukcji metalowych

АННОТАЦИЯ

Цель: Определить влияние количества и месторасположение термопар с необогреваемой поверхности стальной пластины с исследуемым огнезащитным покрытием на водной основе на точность определения теплофизических и огнезащитных характеристик этого покрытия.
Методы: Для определения предела огнестойкости стальных пластин с огнезащитным покрытием на водной основе использованы экспериментальные методы исследования поведения образцов при нагревании, регламентированные требованиями ДСТУ Б В.1.1-4-98 и ДСТУ-Н-П Б В.1.1–29:2010; использовано математическое и компьютерное моделирование процессов нестационарного теплообмена в системе «стальная пластина – вспучивающееся огнезащитное покрытие»; определение теплофизических характеристик исследуемого огнезащитного покрытия.
Результаты: Проведены огневые испытания двух стальных пластин, покрытых вспучивающимся при нагревании огнезащитным составом на водной основе, в условиях стандартного температурного режима пожара. Получены зависимости эффективного коэффициента теплопроводности огнезащитного покрытия от температуры при ее измерении в разных точках стальной пластины и в разных комбинациях (по показаниям одной, двух и трех термопар).
Выводы: на основе проведенных огневых испытаний стальной пластины (толщина 5 мм), покрытой с одной стороны вспучивающимся огнезащитным составом на водной основе, толщиной 0,51 мм в условиях нагрева в огневой печи при стандартном температурном режиме пожара, исследовано влияние количества и месторасположения термопар на точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия.
Установлено, что количество и месторасположение термопар с необогреваемой поверхности металлической пластины, влияет на точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия. Наибольшая точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия наблюдается при использовании данных температурных измерений по показателям трех термопар (критерий среднеквадратичного отклонения составил 5,8 °С). Дальнейшее увеличение количества термопар, установленных с необогреваемой поверхности стальной пластины, не привело к уменьшению критерия среднеквадратичного отклонения.

Ключевые слова: термопара, огнезащитное покрытие, теплофизические характеристики, характеристика огнезащитной способности, огневые испытания
Вид статьи: оригинальная научная статья

ABSTRACT

Goal: Determine the effect of the number and distribution of thermal couples on the cool-touch surface of a steel plate with a tested water film on the accuracy of designating thermophysical and fire protection characteristics of this coating.
Methods: In order to determine fire resistance class of the steel plates with fire protection water film, experimental methods were used to observe the reaction of the samples during heating, regulated by the requirements of B.V. 1.1.-4-98 and NPBV 1.1–29:2010. Mathematical and computer modelling of processes of unsteady heat transfer in the system "steel plate – intumescent coating" were used. Thermal properties of tested intumescent coating were determined.
Results: Fire tests of two steel plates coated with a water film, which swells during heating, were carried out under standard temperature conditions occuring during a fire. The dependences of the effective heat conductivity coefficient of intumescent coating were obtained during its changes at different points of the steel plate and in various combinations (according to indications of one, two and three thermal couples).

[2] Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля, Черкассы / Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes, Cherkassy; naucovec@ukr.net;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.4

Conclusions: On the basis of the conducted fire tests of a steel plate (5 mm in thickness), coated on one side by intumescent water-based composition, of 0,52 mm in thickness, consisting of heating the plate in an ovenat temperatures which are characteristic for fires, the effect of the number and location of thermal couples on the accuracy of thermophysical properties of intumescent coating was tested.
It was determined that the number and location of thermal couples on the cool-touch surface of a plate affect the accuracy of determining thermophysical properties of intumescent coating. The highest accuracy in determining thermophysical properties of intumescent coating is observed while using data from temperature changes according to the indications of the three thermal couples (criterion of standard deviation was 5.8°C). Increasing the number of thermal couples, placed on the unheated surface of steel plate did not result in the decrease of the deviation criterion.

Keywords: thermal couple, fire-retardant coating, thermophysical properties, the property of fireproof capability, fire tests
Type of article: original scientific article

ABSTRAKT

Cel: Określenie wpływu liczby i rozmieszczenia termopar na nienagrzewającej się powierzchni płytki stalowej z badaną wodną powłoką ogniochronną na dokładność wyznaczenia termofizycznych i ogniochronnych cech tej powłoki.
Metody: W celu określenia klasy odporności ogniowej płytek stalowych z wodną powłoką ogniochronną wykorzystano metody eksperymentalne zachowania się próbek podczas nagrzewania, regulowane wymaganiami standardów DSTU B V.1.1.1-4-98 i DSTU-N-P B V1.1.-29:2010. Wykorzystano matematyczne i komputerowe modelowanie procesów niestacjonarnej wymiany ciepła w systemie płytka stalowa – pęczniejąca powłoka ogniochronna. Określono termofizyczne właściwości badanej powłoki ogniochronnej.
Wyniki: Badania ogniowe dwóch płytek stalowych pokrytych wodną powłoką, pęczniejącą podczas nagrzewania, przeprowadzone zostały w warunkach standardowych temperatur występujących podczas pożaru. Otrzymano zależności efektywnego współczynnika przewodnictwa cieplnego powłoki ogniochronnej i temperatury podczas jej pomiarów w różnych punktach płytki stalowej i w różnych kombinacjach (według wskazań jednej, dwóch i trzech termopar).
Wnioski: Na podstawie przeprowadzonych badań ogniowych stalowej płytki (o grubości 5 mm), pokrytej z jednej strony pęczniejącą wodną powłoką ogniochronną o grubości 0,52 mm, polegających na nagrzewaniu płytki w piecu w temperaturach charakterystycznych dla pożarów, zbadano wpływ liczby i lokalizacji termopar na dokładność określenia termofizycznych właściwości powłoki ogniochronnej.
Stwierdzono, że liczba i lokalizacja termopar na nienagrzewanej powierzchni płytki wpływa na dokładność określenia właściwości termofizycznych powłoki ogniochronnej. Największą dokładność przy określeniu termofizycznych właściwości powłoki ogniochronnej obserwuje się przy wykorzystaniu danych z pomiarów temperatury według wskazań trzech termopar (kryterium odchylenia standardowego wynosiło 5,8°C). Zwiększenie liczy termopar, umieszczanych w nienagrzewanej powierzchni stalowej płytki, nie prowadziło do zmniejszenia kryterium odchylenia.

Słowa kluczowe: termopara, powłoka ogniochronna, właściwości termofizyczne, właściwości ogniochronne, badania ogniowe
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Введение

Как известно, металлы обладают высокой чувствительностью к высоким температурам. Они быстро нагреваются и снижают прочностные свойства [1]. Поэтому для широкого применения таких конструкций нужно использовать огнезащиту, которая представляет собой облицовку, оштукатуривание, использование огнезащитных покрытий и многое другое. Испытания металлических конструкций с системой огнезащиты проводятся согласно [2], суть которого состоит в создании температурного режима в печи, регламентированного [3], при тепловом воздействии на опытный образец и определении времени от начала теплового воздействия до наступления предельного состояния для опытного образца, когда достигается критическая температура с необогреваемой поверхности (в нашем случае принимали 500°C).

2. Методы

По вышеупомянутой методике [2] для определения огнезащитной способности покрытия было спланировано и проведено огневые испытания двух пластин из стали Ст. 3, размерами 500 мм × 500 мм × 5 мм с нанесенным огнезащитным составом, вспучивающегося типа «Amotherm Steel Wb» на водной основе, средней толщиной 0,51 мм, измеренной в 9 точках (рис. 1). Механизм действия таких веществ заключается в том, что при высокотемпературном воздействии за счет фазовых физико-химических процессов в структуре покрытия толщина вспучивающегося слоя увеличивается в десятки разов, т.е. образуется «шуба» с низким значением коэффициента теплопроводности, которая замедляет быстрый прогрев стальных конструкций в течение 0,75 часа и более в зависимости от толщины нанесенного слоя.

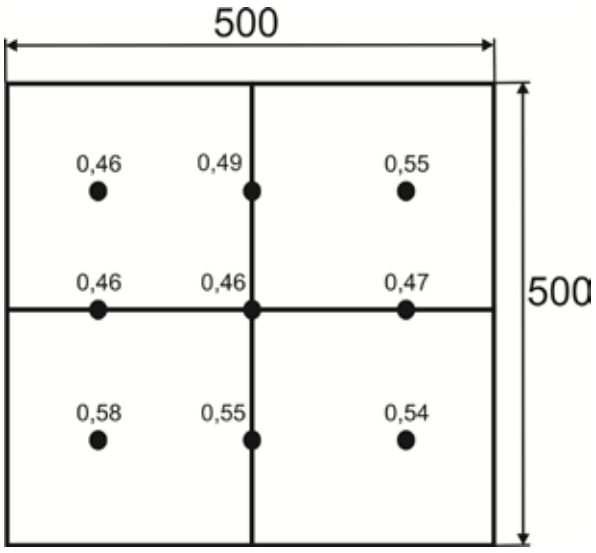


Рис. 1. Схема измерения толщины огнезащитного покрытия
Fig. 1. Scheme of thickness measurement of fire retardant coating
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

На обогреваемую поверхность стальной пластины перед нанесением огнезащитного вещества был нанесен слой грунтовки ГФ-021, толщиной 0,065 мм. Вещество наносилась механизированным способом агрегатом без-

воздушного распыления в соответствии с регламентом работ по огнезащите.

Для измерения средней и максимальной температуры с необогреваемой поверхности металлической пластины были установлены 3 термопары типа ТХА (рис. 2) с диаметром проволоки 0,5 мм (Т1-Т3), одна термопара (Т2) в центре образца и две (Т1, Т3) на расстоянии 100 мм от краев стальной пластины. Спаи термопар были зачеканены в металл на глубину 2 мм и прикреплены теплоизоляционным материалом. С необогреваемой поверхности пластина была защищена двумя слоями мулитокремнеземового фетра, толщиной 20 мм, и плитой минеральной ваты, плотностью 75 кг/м^3 и толщиной 50 мм.

Суть испытания заключалась в создании стандартного температурного режима в печи [3], во время теплового воздействия на опытный образец и определении времени от начала теплового воздействия до достижения температуры 500°С с необогреваемой поверхности стальной пластины.

3. Цель работы

Целью работы было определить влияние количества и месторасположение термопар с необогреваемой поверхности стальной пластины с исследуемым огнезащитным покрытием на точность определения теплофизических и огнезащитных характеристик этого покрытия.

4. Результаты

В результате проведенных испытаний получены температуры с необогреваемой поверхности стальной пластины с огнезащитным покрытием на водной основе, которые далее использовались для определения теплофизических характеристик (ТФХ) исследуемого покрытия, решением обратных задач теплопроводности (ОЗТ) (рис. 3).

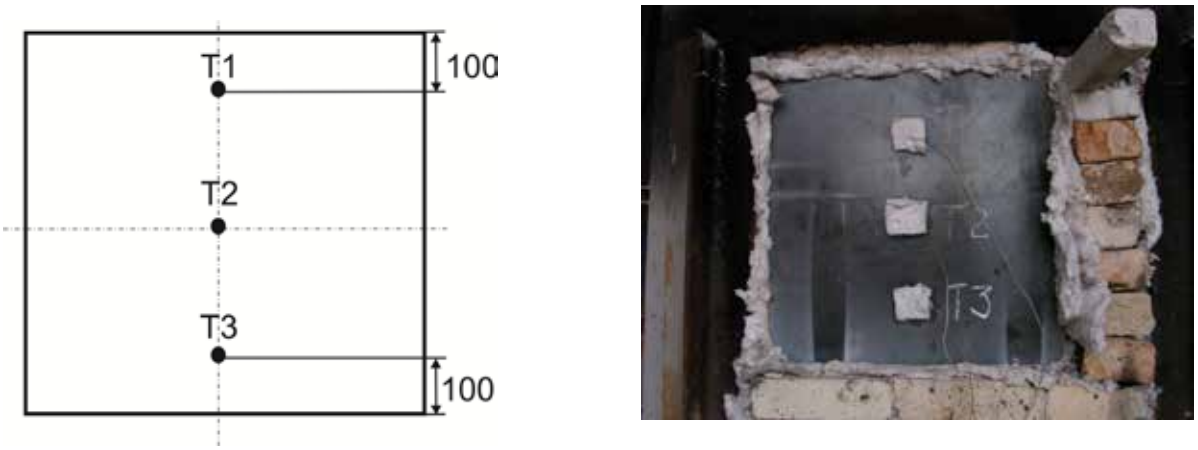


Рис. 2. Схема размещения термопар с необогреваемой поверхности стальной пластины
Fig. 2. Scheme of distribution of thermal couples on the cool-touch surface of steel plate
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

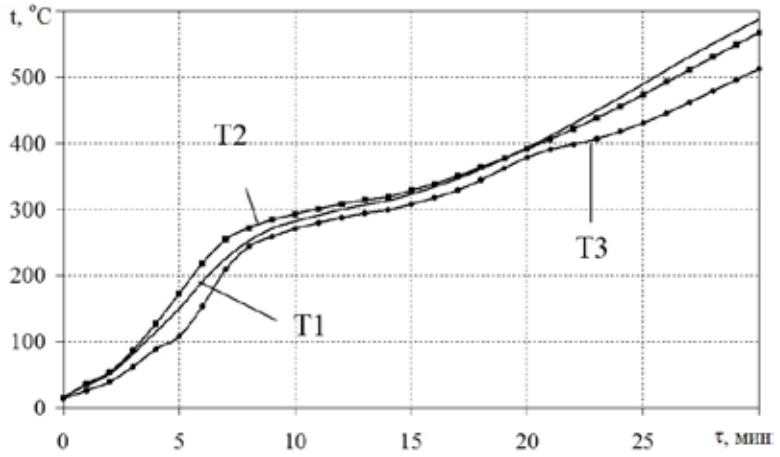


Рис. 3. Зависимость температуры от времени огневого воздействия на необогреваемой поверхности стальной пластины с огнезащитным покрытием: Т1 – термопара, установленная на расстоянии 100 мм от верхнего края пластины; Т2 – термопара, установленная по центру пластины; Т3 – термопара, установленная на расстоянии 100 мм от нижнего края пластины.
Fig. 3. Temperature-time relationship of fire influence on the cool-touch surface of steel plate with the fire retardant coating: T1 – the thermal couple, set in the distance of 100 mm from the upper edge of a plate; T2 – the thermal couple on the center of a plate; T3 – the thermal couple set in the distance of 100 mm from the lower edge of a plate

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.4

На основе разработанной ранее физической модели, представляющую собой систему из двух слоев: металл и огнезащитное покрытие, определили ТФХ покрытия по 1 термопаре в каждом месте расположения (Т1, Т2, Т3) (рис. 4).

Как видно из рис. 4, значение эффективного коэффициента теплопроводности покрытия от начальной температуры до 500°С сильно отличаются друг от друга, что авторы объясняют двумя факторами: неоднородностью теплового потока, воздействующего на стальную пластину, и в связи с этим, неоднородностью прогрева разных частей стальной пластины, либо неоднородностью толщины покрытия в разных местах измерения температуры. Все это указывает на невозможность определения ТФХ покрытия только по показателю одной термопары, вследствие больших погрешностей в значении эффективного коэффициента теплопроводности, которое приводит к погрешностям при определении характеристики огнезащитной способности (ХОС) исследуемого покрытия.

Поэтому дальнейшие исследования были направлены на определение ТФХ покрытия по значениям двух термопар в разных комбинациях: Т1-Т2, Т2-Т3, Т1-Т3.

В результате были получены зависимости эффективного коэффициента теплопроводности исследуемого покрытия от температуры для указанных комбинаций (рис. 5).

Как видно из рис. 5, кривая эффективного коэффициента теплопроводности покрытия, найденного решением ОЗТ по показателям двух термопар Т2-Т3 и Т1-Т3 практически совпадают, а по показателям термопар Т2-Т1 от начальной температуры до 100°С отличается, что может объясняться большим прогревом верхней части металлической пластины из-за эффекта «сползания» покрытия в ходе испытания и появления оголенной поверхности металла [4].

На рис. 6 представлены расчетные и экспериментальные температуры с необогреваемой поверхности пластины, где наблюдается удовлетворительное их совпадение и для которых критерий среднеквадратического отклонения составил: для Т2-Т3 – 6,3°С, Т1-Т3 – 6,7°С, Т2-Т1 – 14,3°С.

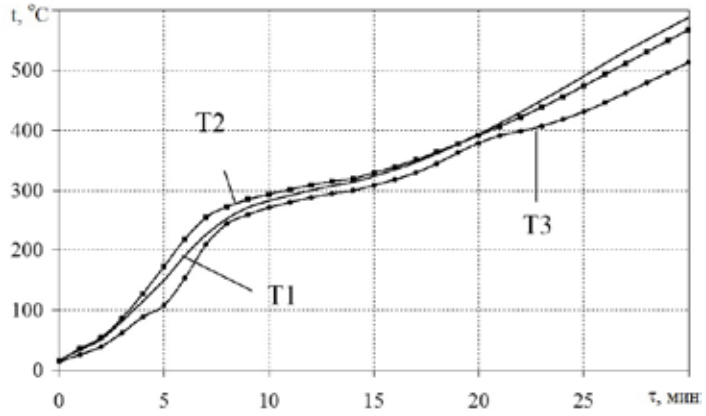


Рис. 4. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности исследуемого покрытия от температуры, найденного решением ОЗТ: Т1 – по показателю термопары, расположенной на расстоянии 100 мм от верхнего края пластины; Т2 – по показателю термопары, расположенной в центре пластины; Т3 – по показателю термопары, расположенной на расстоянии 100 мм от нижнего края пластины.

Fig. 4. Relationship between the effective heat conductivity coefficient of the researched coating and the temperature, determined by solving the inverse heat conduction problem, T1 – according to the index of the thermal couple, located at a distance of 100 mm from the upper edge of a plate; T2 – according to the index of the thermal couple located in the center of plate; T3 – according to the index of the thermal couple located at a distance of 100 mm from the lower edge of plate

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

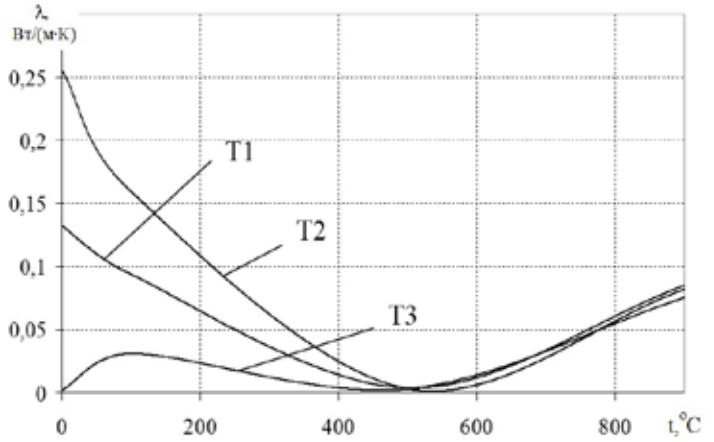


Рис. 5. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности покрытия от температуры, найденного решением ОЗТ по показателям двух термопар в разных комбинациях

Fig. 5. Relationship between the effective heat conductivity coefficient of a coating and the temperature, determined by solving the inverse heat conduction problem according to the indexes of two thermal couples in different combinations

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

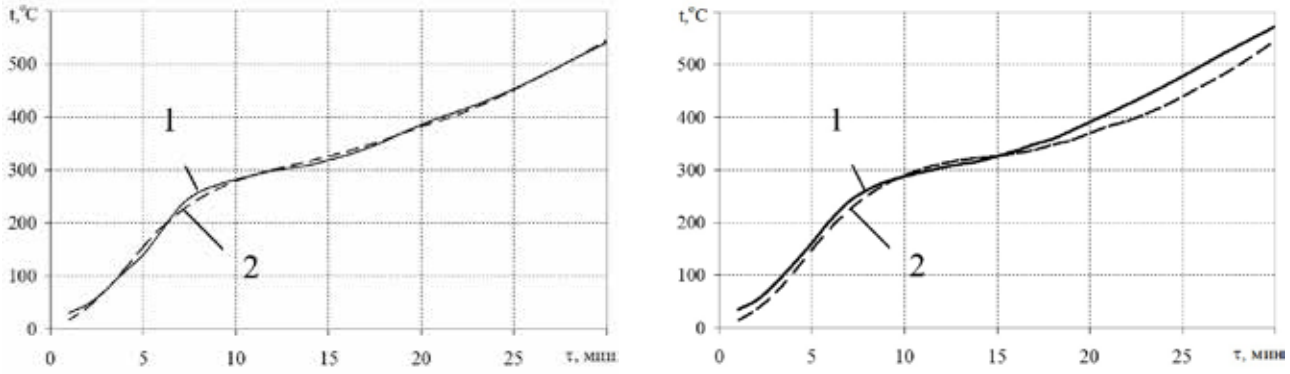


Рис. 6. Зависимость температуры от времени огневого воздействия на необогреваемой поверхности образца с покрытием (а – для комбинаций термопар Т2-Т3 и Т1-Т3; б – для комбинаций термопар Т2-Т1): 1 – полученная по результатам испытаний на огнестойкость 2 – расчетная кривая, полученная решением ОЗТ.
Fig. 6. Temperature-time relationship of fire influence on the cool-touch surface of steel plate with the fire retardant coating: (a – for combinations of thermal couples of T2-T3 and T1-T3; b – for combinations of thermal couples of T2-T1): 1 – obtained by the results of fire-resistance tests, 2 – is a calculated curve, determined by the solving inverse heat conduction problem
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

При этом максимальное расхождение расчетных и экспериментальных значений температуры (рис. 6,а) составило около 3 %, а на рис. 6, б – 8 %.

Поэтому в дальнейшем для определения ТФХ покрытия использовали показатели трех термопар, установленных с необогреваемой поверхности стальной пластины (рис. 7).

Как видно из рис. 7, в диапазоне температур от начальной температуры до примерно 500°С значение коэффициента теплопроводности покрытия линейно падает и проходит через минимальное значение 0,003 Вт/м·К (при температуре 500°С), что можно объяснить физико-химическими процессами, протекающими в покрытии: вспучивание покрытия и увеличение его пористости. Рост коэффициента теплопроводности в диапазоне температур от 500°С до 800°С, вероятней всего, объясняется появлением радиационной составляющей в порах покрытия в сочетании с его высокотемпературной усадкой и обугливанием. Постоянное значение удельной объемной теплоемкости составило $C_v = 1 \times 10^5$ Дж/м^3×К.

При этом наблюдалась наибольшая сходимость экспериментальных и расчетных температур, а критерий среднеквадратичного отклонения составил 5,8°С.

Дальнейшее увеличение количества термопар, установленных с необогреваемой поверхности металлической пластины, не привело к уменьшению критерия среднеквадратичного отклонения.

5. Выводы

1. На основе проведенных огневых испытаний стальной пластины (толщина 5 мм), покрытой с одной стороны вспучивающимся огнезащитным составом на водной основе, толщиной 0,51 мм в условиях нагрева в огневой печи при стандартном температурном режиме пожара, исследовано влияние количества и месторасположения термопар на точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия.

2. Установлено, что количество и месторасположение термопар с необогреваемой поверхности металлической пластины, влияет на точность определения теплофизи-

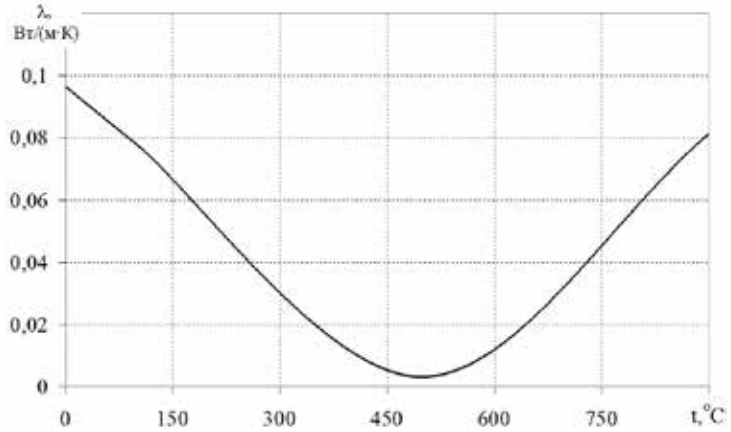


Рис. 7. Зависимость эффективного коэффициента теплопроводности покрытия от температуры, найденного решением ОЗТ, по показателям трех термопар.
Fig. 7. Relationship between effective heat conductivity coefficient of the coating and the temperature determined by solving the inverse heat conduction problem, according to the indexes of three thermal couples
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.4

ческих характеристик огнезащитного покрытия. Наибольшая точность определения теплофизических характеристик огнезащитного покрытия наблюдается при использовании данных температурных измерений по показателям трех термопар (критерий среднеквадратичного отклонения составил 5,8°C).

3. Доказана эффективность вспучивающегося огнезащитного покрытия на водной основе и установлена зависимость коэффициента его теплопроводности от температуры в условиях нагрева в испытательной печи стальной пластины с этим покрытием при стандартном температурном режиме пожара.

6. Перспективы дальнейших исследований

Дальнейшие работы будут направлены на исследование особенностей влияния температурных режимов пожара и теплофизических характеристик огнезащитных покрытий на значение предела огнестойкости металлических конструкций с огнезащитными покрытиями.

Литература

[1] *Primenenie sredstv ognezashchity dlya metallicheskikh konstruktsiy. Uchebno-metod. Posobie*, UrI GPS MChS Rossii, Ekaterinburg 2009, 61.

[2] Zahist vid pozhezhi. Vognezahisne obroblyannya budIvelnih konstruktsiy. Zagalni vimogy ta metody kontrolyuvannya: DSTU-N-P B V.1.1–29:2010. – [Chinniy vid 2011-11-01]. – K. : Minregionbud Ukrayiny, 2011. – 9 s. – (Natsionalniy standart Ukrainy).

[3] Zakhist vid pozhezhi. Budivelni konstruktcii. Metody vyprobuvannia na vognestiikist. Zakhalni vymohy (ISO 834:1975): DSTU B V.1.1-4-98. – [Chynnyi vid 1998-10-28], K. : Ukrarkhbudynform, 1999, s. 21 (Derzhavnii standart Ukrainy).

[4] Bazhenov S.V., Naumov Ju.V., *Vlijanie neodnorodnosti tolshhiny vspuchivajushhegosja pokrytija dlja metallicheskih konstrukcij na ognezashhitnuju jeffektivnost' s uchetom deformacii koksovogo sloja pri teplovom vozdejstvii (uslovija pozhara)*, „Pozharnaja bezopasnost" 2004, 6, 57–62.

[5] Boris O.P., Polovko A.P., Yuzkiv T.B., *Ekspres-metodyka otciniuvannia vognezakhisnoi zdatnosti vognezakhisnikh materialiv*, „Naukovyi visnyk UkrNDIPB" 26(2), 95-99.

* * *

Ковалев Андрей Иванович – в 2002 году закончил Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля МВД Украины. Работал на различных должностях: инспектор государственного пожарного надзора, начальник караула, преподаватель, доцент, ведущий научный сотрудник, начальник отдела, начальник факультета. С 2012 года кандидат технических наук по специальности пожарная безопасность. Ученое звание – старший научный сотрудник с 2013 года. Более 60 научных трудов в отрасли пожарной безопасности.

Зобенко Наталия Васильевна – старший преподаватель-методист факультета гражданской защиты и управления Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 51–62

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.5

bryg. dr hab. inż. **Jerzy Gałaj**, prof. SGSP[1]
mł. bryg. dr inż. **Tomasz Drzymała**[1]
mł. kpt. inż. **Daniel Tabaka**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Analiza wpływu wydajności i kąta rozpylenia na rozkład średnic kropel w strumieniu rozpylonym wytwarzanym przez prądownicę Turbo Master 52[2]

An Analysis of the Impact of Flow Rate and Spray Angle on the Distribution of Water Droplet Diameters in the Spray Stream Generated by the Turbo Master 52 Nozzle

Анализ влияния производительности и угла распыления на распределение диаметра капель в струе из пожарного ствола TURBO MASTER 52

ABSTRAKT

Cel: Średnice kropel w strumieniu rozpylonym mają istotny wpływ na jego skuteczność gaśniczą. W związku z powyższym niniejsza praca miała na celu wyznaczenie rozkładu średnic kropel w strumieniu rozpylonym podawanym z prądownicy Turbo Master 52 przy różnych wydajnościach i kątach rozpylenia, a następnie przeanalizowanie wpływu ostatniego z wymienionych parametrów na ten rozkład.
Metody: Badania przeprowadzono dla trzech standardowych wydajności prądownicy: 200 dm^3/min, 300 dm^3/min i 400 dm^3/min, które mierzono przy pomocy przepływomierza elektromagnetycznego. Pomiar średnic kropel zrealizowano przy pomocy sondy AWK produkcji KAMIKA Instruments, która została połączona z analizatorem kropel współpracującym poprzez specjalną kartę z zestawem komputerowym. Zainstalowane oprogramowanie specjalistyczne wskazanej wyżej firmy umożliwia nie tylko odczyt średnich objętościowych średnic kropel, ale również czas pomiaru, liczbę kropel zliczoną w poszczególnych przedziałach średnic oraz sumaryczną liczbę zliczonych kropel. Według producenta całkowity błąd pomiaru nie przekracza 2,5%. Po wstępnym wyznaczeniu elipsy zraszania dla każdego przypadku określano położenie punktów pomiarowych.
Wyniki: Dzięki przeprowadzonym eksperymentom uzyskano zbiór wielkości średnich średnic kropel w wyznaczonych punktach pomiarowych dla różnych wydajności i kątów rozpylenia. W celu porównania otrzymanych wyników i ich oceny zdefiniowano kilka parametrów, takich jak: całkowita średnia średnica kropel, wskaźnik nierównomierności rozpylania i wskaźnik odchylenia od średnicy optymalnej. W postaci tabelarycznej i graficznej przedstawiono zależności tych parametrów od wydajności prądownicy.
Wnioski: Na podstawie przeprowadzonych badań uzyskano informację nt. wpływu wydajności prądownicy na średnią średnicę objętościową rozpylanych kropel oraz na wartości wskaźników odchylenia od średnicy optymalnej i nierównomierności rozpylenia. Pozwala ona na wybór odpowiedniej wydajności prądownicy przy danym kącie jej pochylenia i rozpylenia strumienia, dla której skuteczność gaśnicza będzie największa. Odpowiada ona najmniejszym wartościom obydwu wskaźników.

Słowa kluczowe: gaszenie pożarów, strumień, prądownice wodne, strumień rozpylony, rozkład średnic kropel, intensywność zraszania, powierzchnia zraszania
Typ artykułu: doniesienie wstępne

ABSTRACT

Aim: As the diameters of the droplets in a spray stream have a significant impact on the effectiveness of the extinguishing process, the main purpose of this work was to determine the distribution of water droplet diameters in the spray stream supplied from the Turbo Master 52 nozzle at various flow rates and spray angles and then analyse the impact of the latter parameter on this distribution.
Methods: Three standard nozzle flow rates were used in the experiment – 200 dm3/min, 300 dm3/min and 400 dm3/min - and they were measured using an electromagnetic flow meter. The measurement of droplet diameters was carried out using an AWK probe manufactured by KAMIKA Instruments, which was connected to a droplet analyser communicating through a special card with a computer set. The installed specialised software from the same company not only allows you to read average volumetric droplet diameters, but also the time of measurement,

[1] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service, Warsaw, Poland; galaj@sgsp.edu.pl;
[2] Procentowy wkład merytoryczny w przygotowanie artykułu / Percentage contribution: J. Gałaj – 40%, T. Drzymała – 40%, D. Tabaka – 20%;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.5

the counted number of drops in the individual diameter intervals and the total number of counted drops. According to the manufacturer, the total measurement error does not exceed 2.5%. After the initial determination of the spraying ellipse, the position of the measuring points was determined for each case.
Results: The performed experiments allowed obtaining a set of average droplet diameters at the designated measuring points for different flow rates and spray angles. In order to compare the obtained results and to evaluate them, several parameters, such as the overall average diameter of all droplets, uneven spraying indicator, and the indicator of deviation from the optimum diameter were defined. The dependences of these parameters on the flow rate of the nozzle were presented in tabular and graphical forms.
Conclusions: Based on the performed experiments, information on the impact of the flow rate of the nozzle on the average volume diameter of spray droplets and the values of the indicators of deviation from the optimal diameter and uneven spraying were obtained. This allows us to select the appropriate flow rate of the nozzle at a given tilt angle and spray angle, which will be the most effective for firefighting. It corresponds to the lowest values of both indicators.

Keywords: fire extinguishing, spray, water nozzle, water stream, water-droplet diameter, sprinkling intensity, sprinkling area
Type of article: short scientific report

АННОТАЦИЯ

Цель: Поскольку диаметры капель в распыленном потоке оказывают существенное влияние на его гасящую эффективность, целью данной работы было определение распределения диаметра капель в струе, подаваемой из ствола Turbo Master 52, при разных значениях производительности и углах распыления, а также анализ влияния последнего из вышеуказанных параметров на данное распределение.
Методы: Исследования были проведены для трех стандартных значений производительности: 200 дм^3/мин, 300 дм^3/мин и 400 дм^3/мин. Значения были определены с помощью электромагнитного расходомера. Измерение диаметра капель было проведено с использованием зонда AWK, изготовленного Kamika Instruments, подключенного к анализатору капель взаимодействующему через специальную карту с компьютером. Установленное специальное программное обеспечение этой фирмы позволяет не только получить средний объемный диаметр капель, но также время измерения, число капель в отдельных отсеках диаметра и общее количество подсчитанных капель. По словам производителя, суммарная погрешность измерения не превышает 2,5%. После первоначального определения эллипса орошения для каждого случая было определено расположение точек измерения.
Результаты: Благодаря проведённым экспериментам получена информация о средних величинах диаметра капель в специально определенных точках измерения для различных значений производительности и углов распыления. Для сравнения полученных результатов и их оценки было определено несколько параметров, таких как общий средний диаметр капель, индекс неравномерности распыления и индекс отклонения от оптимального диаметра. В форме таблиц и графически показана зависимость этих параметров от производительности ствола.
Выводы: На основании проведенных исследований была получена информация о влиянии производительности ствола на средний диаметр распыляемых капель, а также на значения отклонений от оптимального диаметра и неравномерного распыления. Это позволяет выбрать соответствующую производительность ствола при определенным угле ее наклона и распыления потока, для которой гасящая эффективность будет наилучшая. Это соответствует самым низким значениям обоих показателей.

Ключевые слова: тушение пожаров, струя, стволы, распыленная струя, распределение диаметра капель, интенсивность орошения поверхность орошения
Вид статьи: предварительный отчет

1. Wprowadzenie

Już w czasach najdawniejszych człowiek podejmował próby walki z jednym z najgroźniejszych żywiołów, jakim jest ogień. Zarówno wtedy, jak i obecnie najczęściej stosowanym środkiem do walki z pożarem była i jest woda. Jest to związane z jej właściwościami fizykochemicznymi, między innymi dużą pojemnością cieplną oraz największym ze wszystkich cieczy ciepłem parowania. Woda jest także ogólnodostępna, tania oraz neutralna dla otaczającego środowiska [1].

Mimo że do ugaszenia większości pożarów używana jest właśnie woda, nie zawsze jej wykorzystanie jest w pełni efektywne. Skuteczność prowadzenia działań gaśniczych zależy głównie od rodzaju strumienia wodnego podawanego na pożar. Od lat prowadzone są badania mające na celu poznanie najbardziej efektywnego sposobu wykorzystania strumienia wodnego, jego odpowiedniego rozproszenia oraz podawania. Ich głównym celem jest optymalizacja parametrów strumieni wodnych w kontekście prowadzenia działań gaśniczych. Na przestrzeni lat udowodniono m.in., że prądy rozproszone pozwalają lepiej wykorzystać wodę i jej właściwości gaśnicze. W połowie XX wieku Rasbash opublikował prace dotyczące gaszenia rozlewisk węglowodorowych mgłą wodną, w których analizował zależność pomiędzy wielkością kropel i prędkością mgły a efektywnością gaszenia [23]. Jego doświadczenia nie tylko przyniosły wiele cennych wniosków, ale przede wszystkim zrewolucjonizowały ówczesne pożarnictwo. Nieco później, pod koniec lat 70. XX wieku, badania marynarki wojennej USA stworzyły podwaliny dzisiejszych

1. Introduction

Since ancient times mankind has made attempts to fight one of the most dangerous elements – fire. Both then and at present the most-commonly used means of fighting fire was, and still is, water. This is due to its physicochemical properties, including its large heat capacity and the highest vaporisation temperature of all liquids. Water is also widely available, inexpensive and neutral for the environment [1].

Although extinguishing most fires requires water, using it is not always fully effective. The effectiveness of firefighting operations depends mainly on the kind of water spray applied to the fire. For many years research has been conducted on the most effective methods of using water spray, nozzle patterns and supply. The main objective of these studies has been to optimise water spray parameters in the context of conducting firefighting operations. Over the years it has been demonstrated that, among other things, dispersed streams enable firefighters to take better advantage of water and its extinguishing properties. In the middle of the 20th century, David Rasbash published several works on extinguishing hydrocarbon spill fires using water mist, in which he analysed the correlation between the droplet size/spray speed and extinguishing effectiveness [23]. His experiments not only led to many valuable conclusions, but – above all – spawned a revolution in firefighting. Later, at the end of the 1970s, studies by the American Navy prepared the ground for today's water-based firefighting systems in buildings [2], [16-17]. This

wodnych instalacji przeciwpożarowych w obiektach [2], [16-17]. Dzięki nim wzrosła również ranga szeroko rozumianej prewencji – zabezpieczenia budynków przed pożarami. Zauważono bowiem wymierne korzyści wynikające ze stosowania stałych urządzeń gaśniczych w budynkach. W konsekwencji dało to impuls do rozwoju technicznych systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych. Współcześnie badania strumieni rozpylonych przeprowadzał amerykański strażak – instruktor Paul Grimwood. Analizował on głównie pożary wewnętrzne. W swoich publikacjach [7-9] podjął kwestię stosowania prądów rozproszonych oraz związany z tym problem optymalizacji średnic kropel, charakteryzujących się dużą efektywnością schładzania strefy podsufitowej, wydajnym odbieraniem ciepła oraz znacznym zmniejszeniem strat popożarowych powstałych wskutek zalania części obiektów nieobjętych strefą spalania. Grimwood jako wieloletni praktyk, bazując na własnym doświadczeniu, skupił się w swojej pracy przede wszystkim na praktycznych aspektach wykorzystania strumieni wodnych, takich jak np. techniki operowania prądami gaśniczymi. W publikacji jednak określił również m.in. teoretyczną i praktyczną zdolność chłodzenia wody. Ponadto w oparciu o opracowania literaturowe z wielu krajów przedstawił przegląd uznawanych wartości optymalnych średnic kropel w kontekście zdolności do chłodzenia środowiska pożaru. Mieszczą się one w przedziale od 200 μm do 500 μm w zależności od rodzaju i fazy pożaru. Wszystkie wspomniane badania potwierdzają więc, że pożarnictwo w całości zostało zdominowane przez strumienie rozpylone. Problemem jest jednak fakt, że wiedza na ich temat jest nadal zbyt mała. Mimo że w literaturze, zwłaszcza amerykańskiej i skandynawskiej, można znaleźć różne opracowania dotyczące prądów wodnych stosowanych w pożarnictwie, żadne z nich nie wyczerpuje w pełni poruszanej tematyki. Istnieje również szereg publikacji dotyczących teorii i badań rozpylonych strumieni wodnych generowanych przez dysze, tryskacze lub zraszacze [3], [4], [10], [15], [18-20]. Ciągle jednak brakuje w literaturze opracowań dotyczących prądów rozproszonych wytwarzanych przez prądownice w warunkach rzeczywistych, a należy podkreślić, że jest to szczególnie ważny aspekt praktyczny, ponieważ od skuteczności gaśniczej zależy przede wszystkim czas trwania pożaru.

Dzięki rozwojowi nowych technologii w zakresie ochrony przeciwpożarowej otrzymuje się coraz więcej możliwych do zastosowania urządzeń do skutecznego podawania dowolnych strumieni wodnych. Dostępny jest szeroki wachlarz strumieni, od mgłowego o małej wydajności i dużym rozpyleniu do prądów zwartych o dużej wydajności i dużych kroplach. Stosowane współcześnie prądownice typu Turbo posiadają możliwość płynnej regulacji kąta rozpylenia oraz wydajności, dzięki czemu mogą być dostosowywane do różnego rodzaju prowadzonych działań gaśniczych w natarciu lub obronie. Pozwala to na optymalny dobór parametrów prądu gaśniczego do rodzaju palącego się materiału. Jest to istotne, gdyż nieskuteczne używanie wody może doprowadzić do przedwczesnego zużycia środka i wydłużenia prowadzonej akcji gaśniczej [11], [14]. Ze względu na swoją uniwersalność i skuteczność stosowania prądownice typu Turbo są podstawowym narzędziem stosowanym przez Państwową Straż Pożarną [6], [14], [23].

Głównym celem artykułu było przeprowadzenie badań doświadczalnych mających dać podstawę do ustalenia wpływu wydajności wody podanej przez prądownicę Turbo Master 52 na rozkład średnic wytworzonych kropel. Otrzymane wyniki pozwoliły na przeanalizowanie efektywności badanej prądownicy oraz jej przydatności w działaniach ratowniczych.

led to increasing the role of widely understood prevention measures to protect buildings from fires, as the measurable benefits of using fixed extinguishing equipment in buildings were recognised. As a consequence, there was a boost in the development of fire protection systems. Today research on spray streams is being conducted by the British firefighter and instructor Paul Grimwood. He has focused on fires occurring in buildings. In his publications [7-9] he addressed the issue of using dispersed streams and the related question of water droplet diameters characterised by the high efficiency of cooling ceiling areas, efficient heat reception and a considerable reduction in post-fire damage arising from flooding objects not within the fire zone. Grimwood, as a long-term practitioner, drew on his own experience, and in his work focused mainly on the practical aspects of water streams, such as the techniques of using extinguishing streams. In his publication he also included the theoretical and practical cooling properties of water. Moreover, drawing on the extensive literature on the subject from many countries he provided a review of the recognised optimum values of droplet diameter in the context of their ability to reduce the temperature of a fire. These are between 200 μm and 500 μm, depending on the kind and stage of the fire. All the quoted studies confirm that firefighting has been dominated by spray streams. The problem is the fact that knowledge in this field is still too limited. Although, in the literature, mostly American and Scandinavian, a variety of papers related to the use of water streams used in firefighting can be found, none of them is exhaustive. There are also some publications about the theory and studies into water spray streams generated by nozzles, sprinkler heads and sprinklers [3], [4], [10], [15], [18-20]. No papers about sprinkled streams emitted by nozzles in real-time conditions are still to be found in the literature, and it should be stressed that it is a very important practical aspect, as fire duration depends on extinguishing effectiveness.

Thanks to the development of new technologies in the field of fire protection, there are an increasing number of viable devices for the effective supply of different water sprays. There are many streams, from the "mist" type, with a low flow rate and big sprays, to tight streams with a high flow rate and big droplets. The currently used nozzles – the Turbo – type allow the easy regulation of the spray angle and flow rate, so they can be adjusted to various kinds of offensive and defensive firefighting operations. This provides an opportunity to choose the optimum parameters of the extinguishing stream to the kind of burning material. It is crucial, as ineffective use of water can lead to prematurely running out of the extinguishing agent and prolonging the firefighting operation [11], [14]. Because of its universal and effective usage, Turbo-type nozzles are the basic piece of equipment used by the State Fire Brigade [6], [14], [23].

The main purpose of this article involved experimental studies aimed at establishing the basis for establishing the impact of the flow rate of water supplied by the Turbo Master 52 nozzle on the distribution of water droplet diameters. The obtained results enabled the authors to analyse the effectiveness of the studied nozzle and its usefulness in rescue actions.

2. The Test Stand and Measurement Methodology

The studies were conducted in the Fire-Fighting Equipment Laboratory in the Main School of Fire Service in Warsaw, on a specially adjusted test bench. The subject of the research was a Turbo Master 52 nozzle, shown in Fig. 1.

The Turbo Master 52 water nozzle is a new-generation device in the AWG turbo product range. It is a nozzle with adjustable flow rate. It allows three stream types, by easily

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.5

2. Stanowisko badawcze i metodyka pomiarów

Badania zostały przeprowadzone w Laboratorium Sprzętu Ratowniczo–Gaśniczego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, na specjalnie do tego celu przystosowanym stanowisku badawczym. Przedmiotem badań była prądownica Turbo Master 52 pokazana na ryc. 1.

adjusting the spray stream-cone angle, and has an integrated cleaning (rinsing) function. The flow rate is adjusted by turning a ring. After turning the ring fully clockwise the cleaning function is activated - it allows you to rinse the dirt with a diameter of up to 6 mm. The nozzle provides flow rate adjustments with the 100-200-300-400 l/min options and a rinsing function. Between the diffused and "umbrella-type" stream it is possible to easily adjust the cone angle to a max-

Ryc. 1. Prądownica Turbo Master 52 [24]
Fig. 1. The Turbo Master 52 Water Nozzle [24]

Ryc. 2. Analizator AWK
Fig. 2. The AWK analyser
Źródło: Archiwum własne.
Source: Own archive.

Ryc. 3. Sonda pomiarowa umieszczona na stojaku
Fig. 3. Measuring probe mounted to the stand
Źródło: Archiwum własne.
Source: Own archive.

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 51–62
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.5

Prądownica Turbo Master 52 to urządzenie nowej generacji turbo produkcji AWG. Jest to prądownica z regulowaną wydajnością. Pozwala uzyskać trzy rodzaje strumienia, płynnie regulować kąt rozwarcia strumienia rozproszonego, a także posiada zintegrowaną funkcję oczyszczania (płukania). Wydajność regulowana jest przy pomocy obrotowego pierścienia. Po przekręceniu pierścienia skrajnie w prawo uruchamia się funkcję oczyszczania – pozwala to na wypłukanie zanieczyszczeń o średnicy do 6 mm. Prądownica posiada regulację wydajności na następujących nastawach 100-200-300-400 l/min oraz płukanie. Pomiędzy strumieniem rozproszonym a parasolowym możliwa jest płynna regulacja kąta rozwarcia do maksymalnie 160°. Skrajne położenie uruchamia parasol ochraniający operatora przed promieniowaniem cieplnym. Ciśnienie robocze badanej w pracy prądownicy Turbo Master wynosi 0,6 MPa, natomiast ciśnienie maksymalne jest równe 1,6 MPa [25-26].

Do przeprowadzenia badań wpływu wydajności na wielkość średnic kropel w strumieniu rozpylonym użyto analizatora widma kropel AWK (ryc. 2) wyprodukowanego przez firmę KAMIKA Instruments w Warszawie. Przyrząd ten w warunkach laboratoryjnych lub poligonowych służy do pomiaru rozkładu rozpylonych i swobodnie opadających kropel w powietrzu w zakresie od 5 μm do 5 mm. Zestaw pomiarowy AWK składa się z sondy pomiarowej (ryc. 3), w której znajduje się przetwornik fotoelektryczny połączony z układem elektronicznym przetwarzającym sygnały elektryczne. Połączenie wykonane jest z kabla o długości 20 m. Sonda ma układ optyczny składający się z nadajnika oraz odbiornika światła podczerwonego [12].

Swobodnie opadające krople po dostaniu się do wnętrza sondy na skutek zjawiska rozproszenia zaburzają odbiór podczerwieni przez fotodiodę. W układzie elektronicznym formowane są wtedy impulsy elektryczne proporcjonalne do średnic kropel. Układ elektroniczny połączony jest przez dwa kable: sterujący i pomiarowy do specjalnego interfejsu w komputerze, gdzie analizie poddany jest kształt i amplituda impulsu. Po kalibracji impulsów otrzymuje się średnicę kropli znajdującą się aktualnie w układzie pomiarowym. Wyniki pomiaru są zapisywane w pamięci komputera w jednostkach elektrycznych i można je przeliczyć na jednostki fizyczne. Wyniki wyświetlane są na monitorze, a sterowanie przyrządem odbywa się za pomocą klawiatury i myszy komputerowej. Dzięki współpracy urządzania z komputerem można uzyskać charakterystyki na wykresach bezpośrednio po zakończeniu pomiaru.

Sonda wyposażona jest w trzy wymienne przysłony, których używa się w zależności od koncentracji kropel. Koncentracja kropel zależna jest od natężenia przepływu cieczy w rozpylaczu i odległości badanego rozpylacza od sondy. Maksymalny całkowity błąd pomiarowy systemu wynosi 2,5%. Należy zwrócić uwagę na to, iż dokładność może zostać zaburzona poprzez zalanie układu pomiarowego sondy. Sygnalizuje to wskaźnik diodowy umieszczony na analizatorze AWK. Po zalaniu układu należy przerwać pomiar, aż do czasu wysuszenia sondy [10], [30].

Stanowisko badawcze (ryc. 4) składa się z układu pompowego (5), zbiornika na wodę (4), który stanowi bufor wodny i zasilany jest z hydrantu (1) za pośrednictwem węża W75 (2). Na wejściu do zbiornika znajduje się zawór (3), przy pomocy którego zamykany lub otwierany jest dopływ wody z hydrantu. Układ pompowy (5) tłoczy wodę i podaje ją pod ciśnieniem do układu zakończonego badaną prądownicą (12). Stojak (13) umożliwia regulację kąta pochylenia prądownicy względem podłoża. Prądownica wytwarza strumień rozpylony, a następnie opadające krople analizowane są przez sondę AWK (14) o powierzchni otworu wlotowego 254 mm^2. Sonda umieszczona jest na specjalnym stojaku około 50 cm

imum of 160°. The maximum setting generates a protection "umbrella" protecting the operator from heat radiation. The operating pressure of the analysed Turbo Master nozzle is 0.6 MPa, and the maximum pressure is 1.6 MPa [25-26].

The impact of flow rate on droplet diameter in a sprayed stream was analysed using the AWK droplet-spectrum analyser (Fig. 2), produced by KAMIKA Instruments in Warsaw. In the laboratory or field conditions this device is used for measuring the distribution of sprayed and freely falling droplets in the air in the range of 5 μm to 5 mm. The AWK measuring set consists of a measuring probe (Fig. 3) which includes a photoelectric converter connected to an electronic circuit the electric signals. Connections are through a 20-m-long cable. The probe has an optical circuit comprising an infra-red light transmitter and a receiver [12].

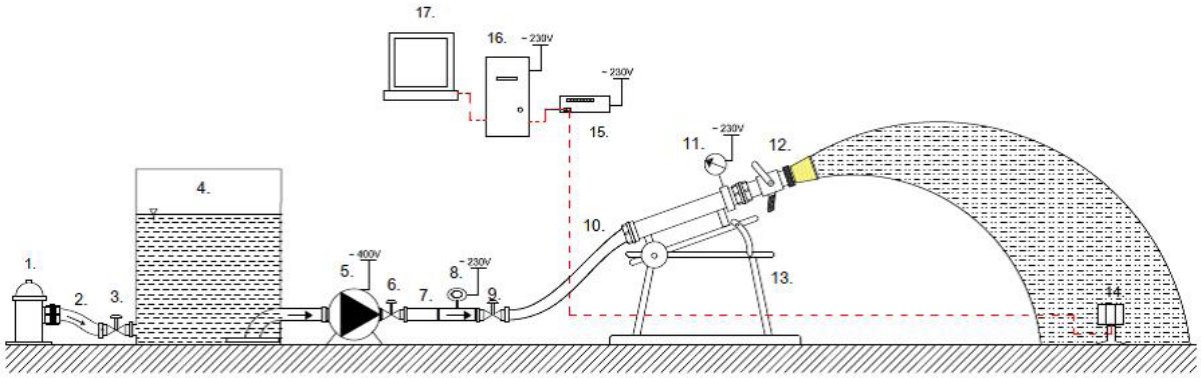
Free-falling droplets, after penetrating the probe, due to the dispersion phenomenon, interfere with the reception of infra-red radation by the photodiode. Electric impulses are generated in the electronic circuit proportionately to droplet diameters. The electronic circuit is connected by two cables, the control cable and the measurement cable, to a special computer interface where the shape and amplitude of the impulse is analysed. After impulse calibration, the diameter of the droplet currently located within the measurement system is determined. The results are saved in computer memory in electronic units and can be converted into physical units. The results are shown on the screen and the device is operated using a mouse and a keyboard. As the device is supported by computer software, the characteristics can be displayed as charts immediately after the measurement is completed.

The probe is equipped with three changeable measuring elements which should be deployed according to droplet concentration. The droplet concentration depends on the flow rate in the nozzle and the distance between the nozzle and the probe. The maximum total measuring error of the AWK system is 2.5%. It should be noted the accuracy might be impaired by water penetrating the probe's measurement unit. It is signalised by the diode placed on the AWK analyser. When the unit becomes penetrated with water, the measuring should be stopped until the probe is dry [10], [30].

The test bench (Fig. 4) consists of a pump system (5), a water tank (4) which makes up a water buffer and is powered from the fire hydrant (1) using the W75 fire hose W75 (2). At the tank inlet there is a valve (3), which opens and closes water flowing from the fire hydrant. The pump system (5) forces water under pressure to the system which ends with the studied nozzle (12). The stand (13) facilitates the adjustment of the nozzle tilt angle to the surface. The nozzle generates the sprayed stream and then the falling droplets are analysed by the AWK (14) probe with an inlet area of 254 mm^2. The probe is placed on a special stand around 50 cm above the ground to eliminate measuring errors caused by the droplets reflecting of the surface. Probe readings data are sent to the analyser (15) and then on to a computer (16) and displayed on the screen (17). While measuring through regulating valves (6,9) a fixed flow rate and pressure are maintained (12). The valve (9) is connected to a nozzle by the W75 water hose (10). Flow rate control is facilitated by a flow meter (8) mounted on the flow pipe, ending with a 52-mm outlet (7). Pressure control is afforded by the strain gauge placed before the nozzle outlet (11). Fig. 5-7 show the computer system during measurement, the nozzle placed on a stand and a pump system with a water buffer.

The distribution of measuring points was performed depending on the analysed stream type. The measuring points were placed on the ellipse sprinkled by the nozzle stream. The distribution of these points is schematically shown in Fig. 8. The maximum range of spray-stream reach was 12 m.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.5

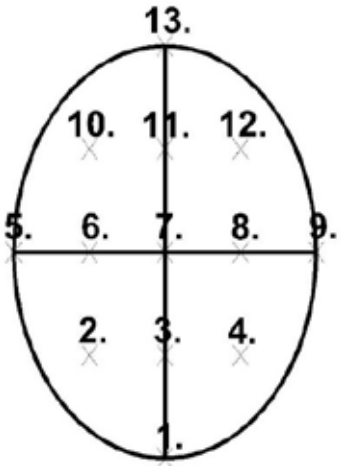


Ryc. 4. Schemat stanowiska pomiarowego [22]
Fig. 4. Schema of the measuring station [22]

Ryc. 5. Widok zestawu komputerowego podczas pomiaru
Fig. 5. A view of the computer system during the experiment
Źródło: Archiwum własne.
Source: Own archive.

Ryc. 6. Widok prądownicy zamontowanej
Fig. 6. A view of the nozzle mounted on a stand
Źródło: Archiwum własne.
Source: Own archive.

Ryc. 7. Widok zestawu pompowego na stojaku
Fig. 7. A view of the pump system
Źródło: Archiwum własne.
Source: Own archive.



Ryc. 8. Schemat rozkładu punktów pomiarowych dla prądów rozpylonych [22]
Fig. 8. Schema of the distribution of the measuring points for spray streams [22]

nad podłożem w celu wyeliminowania błędu pomiarowego powodowanego odbitymi kroplami od powierzchni podłoża. Dane odczytane przez sondę są przekazywane do analizatora (15), a następnie przesyłane do komputera (16) i wyświetlane na monitorze (17). Podczas pomiaru za pomocą zaworów regulacyjnych (6, 9) utrzymywany jest stały wydatek oraz ciśnienie na prądownicy (12). Zawór (9) jest połączony z prądownicą za pomocą węża pożarniczego W75 (10). Kontrolę wydajności umożliwia przepływomierz (8) zamontowany na rurze przepływowej zakończonej nasadami 52 (7). Kontrolę ciśnienia umożliwia tensometryczny czujnik ciśnienia zamontowany przed nasadą prądownicy (11). Na ryc. 5-7 pokazano odpowiednio zestaw komputerowy w trakcie pomiaru, prądownicę na stojaku oraz układ pompowy z buforem wodnym.

Rozkładu punktów pomiarowych dokonano w zależności od rodzaju badanego strumienia. Punkty pomiarowe zostały rozmieszczone na elipsie zraszanej przez strumień wytworzony przez prądownicę. Rozkład tych punktów został pokazany schematycznie na ryc. 8. Zasięg rzutu strumieni rozpylonych wynosił maksymalnie 12 m.

Badania odbywały się dla wszystkich kombinacji nastawień wydajności prądownicy (200 dm^3/min, 300 dm^3/min i 400 dm^3/min) i kąta rozpylenia (30° i 60°) przy kącie pochylenia równym 30°. Każdy pomiar przeprowadzano przy ustabilizowanym ciśnieniu 6 bar, gdyż tyle wynosi ciśnienie robocze badanej prądownicy. Stan ciśnienia kontrolowano za pomocą tensometrycznego czujnika ciśnienia APAR umieszczonego tuż przed nasadą badanej prądownicy. Podczas pomiarów użyto czujnika APAR (typ AR002), którego błąd pomiarowy wynosił 0,5% przy zakresie pomiarowym do 10 bar. Czujnik ten współpracuje z przetwornikiem APAR (typ AR405C). Przetwornik analizuje sygnał przesyłany przez czujnik i wyświetla aktualnie panujące ciśnienie na nasadzie prądownicy. Oba przyrządy zostały wyprodukowane przez Zakład Elektroniki Pomiarowej w Warszawie. Podczas pomiarów utrzymywano wydatek na przepływomierzu zgodnie z ustawionym wydatkiem na głowicy prądownicy Turbo Master. Utrzymanie wymaganego przepływu możliwe było dzięki zastosowaniu elektromagnetycznego przepływomierza japońskiej firmy Yamatake – Honeywell. Przepływomierz umożliwia w sposób ciągły kontrolę wydajności na prądownicy, wskazując procentową wartość przepływu (przy czym 100% przepływu wynosi 500 dm^3/min). Wskazania przyrządu są bardzo dokładne, gdyż jego błąd pomiaru wynosi 0,5% wielkości mierzonej. Aby zapewnić odpowiedni tor strugi

Tests were conducted for all combinations of flow rate (200 dm^3/min, 300 dm^3/min, and 400 dm^3/min) and sprinkling angles (30° and 60°), with a 30° tilt angle. Every measurement was conducted at a stabilised pressure of 6 bar, as that was the operating pressure of the studied nozzle. The pressure was controlled by the APAR strain gauge placed slightly before the analysed nozzle's outlet. An APAR sensor (type AR002), with a measuring error of 0.5% in the measurement range of 10 bar, was used in measuring. The sensor works with an APAR converter (type AR405C). The converter analyses the signal sent by the sensor and display the current pressure on the nozzle outlet. Both devices were produced by Zakład Elektroniki Pomiarowej in Warsaw. During measurement, the flow rate was maintained on a flow meter according to a fixed flow rate set on the Turbo Master nozzle head. Maintaining the required flow was possible thanks to the use of an electromagnetic flow meter by Japanese company Yamatake – Honeywell. The flow meter facilitates constant flow rate control on the nozzle by showing the flow rate percentage value (100% flow is 500 dm^3/min). The device shows precise values and its measurement tolerance is 0.5% of the measured quantity. To assure a proper stream track from the nozzle weather conditions were controlled and air speed was measured using an anemometer. Most measuring instances were done in windless weather. The maximum air speed while measuring was 1 m/s.

The measurement lasted 3 minutes or long enough for the probe to count 50,000 droplets. The measures were recorded by the AWK program which counted average volume diameters D_v between 5-5000μm. The measurement was initiated by pushing the START button and ended automatically after 3 min or after counting the programmed number of droplets, whichever came first. The research was conducted according to the following algorithm:

1. Setting a stable tilt angle of the nozzle.
2. Setting the spray angle using the nozzle head.
3. Setting the nozzle flow rate using the adjustment valve.
4. Turning on the computer and the AWK analyser.
5. Setting the proper parameters in the AWK program.
6. Turning on the pumps.
7. Placing the probe in the proper measurement point.
8. Opening the nozzle valve.
9. Starting the measurement (START button).
10. Finishing the measurement (50,000 droplets or 3 min) and recording the result.
11. Cutting the nozzle valve.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.5

wytworzonej przez prądownicę, kontrolowano warunki pogodowe oraz mierzono prędkość wiatru anemometrem. W większości przypadków pomiarów dokonano przy pogodzie bezwietrznej. Maksymalna prędkość wiatru, przy której wykonywano pomiary wynosiła do 1 m/s.

Pomiar trwał 3 min lub do zliczenia przez sondę 50 000 kropel. Rejestrację pomiarów dokonano przy pomocy programu AWK, który zliczał średnie średnice objętościowe D_v w przedziale 5-5000 μm. Początek pomiaru następował po kliknięciu przycisku START i kończył się automatycznie po 3 min lub wcześniejszym zliczeniu zaprogramowanej liczby kropel. Badanie wykonywano według następującego algorytmu postępowania:

1. Ustawienie stałego kąta pochylenia prądownicy.
2. Ustawienie kąta rozpylenia przy pomocy głowicy prądownicy.
3. Ustawienie wydajności prądownicy przy pomocy zaworu regulacyjnego.
4. Uruchomienie komputera oraz analizatora AWK.
5. Ustawienie odpowiednich parametrów w programie AWK.
6. Uruchomienie pomp.
7. Ustawienie sondy w odpowiednim punkcie pomiarowym.
8. Otwarcie zaworu prądownicy.
9. Rozpoczęcie pomiaru (przycisk START).
10. Zakończenie pomiaru (50000 kropel lub 3 min) i zapisanie wyniku.
11. Zamknięcie zaworu prądownicy.
12. Powtórzenie czynności opisanych w punktach 4-11 dla pozostałych punktów pomiarowych.
13. Powtórzenie czynności opisanych w punktach 3-12 dla pozostałych wydajności prądownicy.
14. Powtórzenie czynności opisanych w punktach 2-13 dla pozostałych kątów rozpylenia.
15. Wyłączenie pomp i zasilania.

3. Wyniki badań

W celu zagregowania uzyskanych wyników i umożliwienia ich porównania ze sobą zdefiniowano następujące parametry charakteryzujące w sposób ogólny otrzymane strumienie rozpylone:

3.1. Średnia arytmetyczna średnich średnic objętościowych kropel D_v

Średnią arytmetyczną obliczono ze wszystkich dokonanych pomiarów na podstawie wzoru:

$$D_v = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_{vi}}{n} \quad [\mu m] \tag{1}$$

gdzie:
n – liczba wszystkich punktów pomiarowych,
D_{vi} – średnia średnica objętościowa wyznaczona dla i-tego punktu pomiarowego [μm].

3.2. Wskaźnik odchylenia od średnicy optymalnej WSO

Określa odchylenie zmierzonych średnich średnic kropel od wartości optymalnej najlepszej do działań gaśniczych w warunkach pożarowych. Do badań przyjęto, że optymalna średnia średnica objętościowa kropel wynosi D_{vopt}=350 μm. Wskaźnik WSO można wyznaczyć na podstawie poniższej zależności:

$$WSO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (D_{vi} - D_{vopt})^2}{n}} \quad [\mu m] \tag{2}$$

12. Repeating the activities described in points 4-11 for other measurement points.
13. Repeating the activities described in points 3-12 for other nozzle flow rates.
14. Repeating the activities described in points 2-13 for other spray angles.
15. Cutting off the pump and feed.

3. Results

To aggregate the obtained results and facilitate their comparison, the following general parameters were defined to characterise the obtained spray streams:

3.1. The arithmetic mean of the average volume diameters of droplets D_v.

The arithmetic mean was calculated from all conducted tests using the following formula:

$$D_v = \frac{\sum_{i=1}^{n} D_{vi}}{n} \quad [\mu m] \tag{1}$$

where:
n = the total number of measuring points,
D_{vi} = the average volume diameter assigned for the *i*-th measuring point [μm].

3.2. The index of deviation from the optimum diameter (WSO).

This determines the deviation of the measured average diameters of droplets from the optimum value for firefighting operations. It was assumed in the research that the optimum average volume diameter was D_{vopt}=350 μm. The WSO can be determined from the following:

$$WSO = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (D_{vi} - D_{vopt})^2}{n}} \quad [\mu m] \tag{2}$$

3.3. The uneven spray index (WNR).

It defines the spray heterogeneity values in a given research area. It can be determined using the following equation:

$$WNR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (D_{vi} - D_v)^2}{n}} \quad [\mu m] \tag{3}$$

Table 1 shows the values of the three spray stream parameters defined above for all analysed tilt and spray angles and flow rates.

Fig. 9-11 indicate the points obtained from the experiment and calculations, representing the relationship between D_v, WSO and WNR parameters and the flow rate of the nozzle and the spray angle.

4. Summary and conclusions

This article presents the research into droplet distribution in a spray stream supplied by the Turbo Master 52 nozzle. The measurements were conducted in a partly-covered area and efforts were made to reduce the impact of air movement by the appropriate placement of the nozzle. The research was conducted for three different nozzle flow rate values (200, 300 and 400 dm^3/min) and two spray angles (30° and 60°). A sta-

Tabela 1. Wartości parametrów D_v, WSO i WNR
Table 1. Values of parameters D_v, WSO and WNR

Wydajność / Flow rate [dm³/min]	kąt rozpylenia 30° / 30° spray angle			kąt rozpylenia 60° / 60° spray angle		
	D_v [µm]	WSO [µm]	WSO [µm]	D_v [µm]	WSO [µm]	WSO [µm]
200	587.5	265.6	119.0	478.6	152.8	82.5
300	637.6	288.3	20.2	634.1	306.8	115.8
400	698.2	349.8	33.3	713.5	371.2	75.2

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

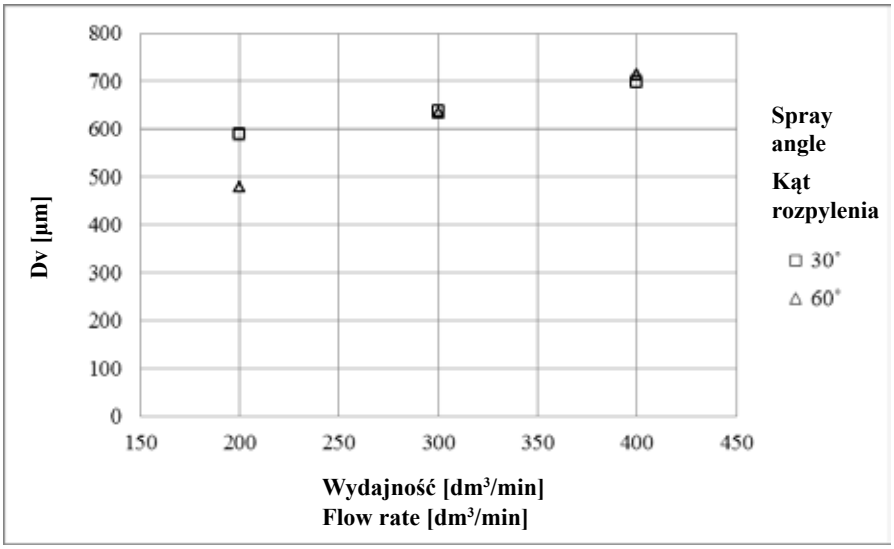
3.3. Wskaźnik niejednorodności rozpylenia WNR

Przedstawia on wartość nierównomierności zraszania w danym obszarze badań. Można go wyrazić przy pomocy następującego wzoru:

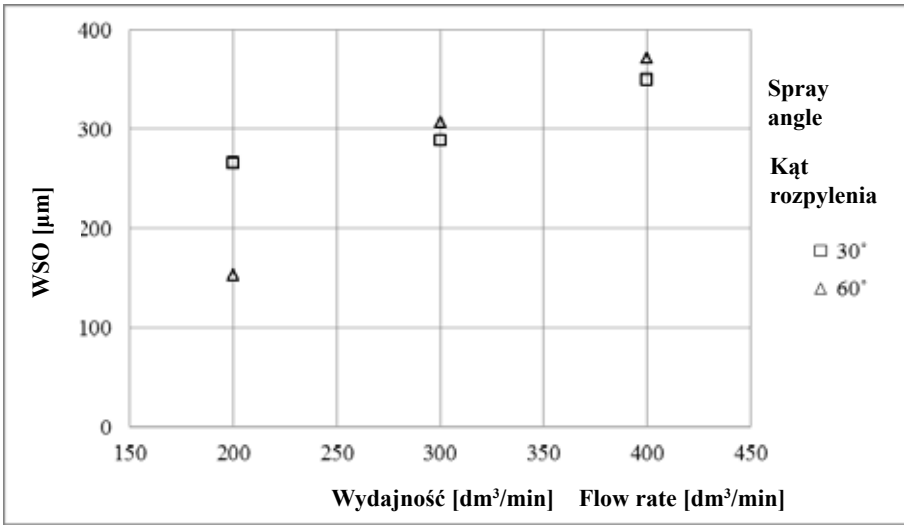
$$WNR = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(D_{vi} - D_v)^2}{n}} \ [\mu m] \quad (3)$$

ble nozzle-tilt angle of 30° was used. The final research result was determining three aggregated parameters of the spray stream: the arithmetic mean of droplet diameter ($D_{v)}$, the index of deviation from the optimum diameter (WSO), and the uneven spray index (WNR), which was used to measure its extinguishing effectiveness and spray quality.

On the basis of the obtained results, shown in Table 1 and in Fig. 9-11, the following conclusions may be made.

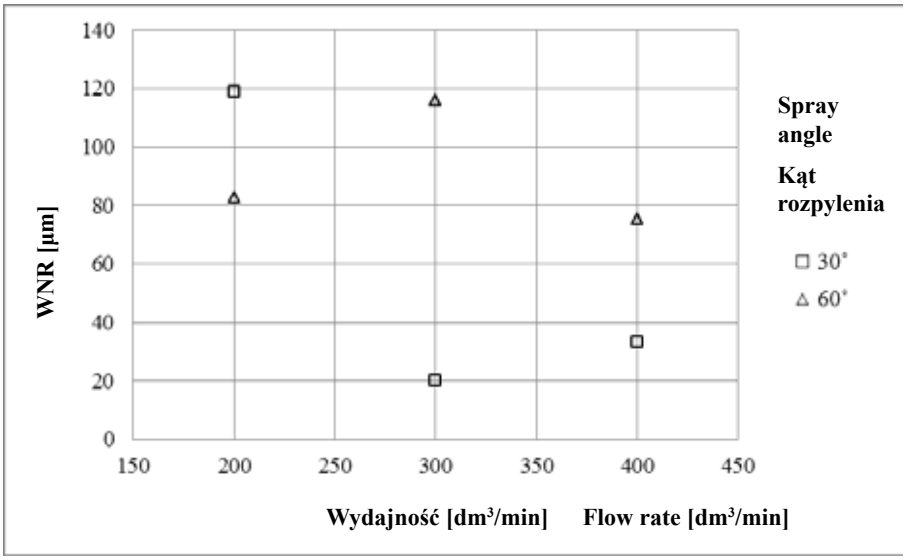


Ryc. 9. Zależność Dv od wydajności prądownicy dla dwóch kątów rozpylenia strumienia 30° i 60° [22]
Fig. 9. The relationship between the Dv and nozzle flow rate for the two spray angles 30° and 60° [22]



Ryc. 10. Zależność WSO od wydajności prądownicy dla dwóch kątów rozpylenia strumienia 30° i 60° [22]
Fig. 10. The relationship between the WSO and nozzle flow rate for the two spray angles 30° and 60° [22]

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.5



Ryc. 11. Zależność WNR od wydajności prądownicy dla dwóch kątów rozpylenia strumienia 30° i 60° [22]
Fig. 11. The relationship between the WNR and nozzle flow rate for the two spray angles 30° and 60° [22]
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

W tabeli 1 zestawiono wartości zdefiniowanych wyżej trzech parametrów strumieni rozpylonych dla wszystkich analizowanych kątów pochylenia i rozpylenia oraz wydajności.

Na ryc. 9-11 pokazano otrzymane w wyniku eksperymentu i obliczeń punkty reprezentujące odpowiednio zależności pomiędzy parametrami D_v, WSO i WNR a wydajnością prądownicy i kątem rozpylenia strumienia.

4. Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono badania rozkładu kropel w strumieniu rozpylonym podawanym z prądownicy Turbo Master 52. Pomiarów dokonywano w przestrzeni ograniczonej wiatą, przy czym przez odpowiednie ustawienie prądownicy starano się zminimalizować wpływ ruchów powietrza. Badania przeprowadzono dla trzech różnych wydajności prądownicy 200, 300 i 400 dm³/min oraz dwóch kątów rozpylenia 30° i 60°. Zastosowano stały kąt pochylenia prądownicy równy 30°. Ostatecznym efektem badań było wyznaczenie trzech zagregowanych parametrów strumienia rozpylonego: średniej arytmetycznej średnicy kropel D_v, wskaźnika odchylenia od średnicy optymalnej WSO i wskaźnika nierównomierności rozpylenia WNR, które posłużyły m.in. do oceny jego skuteczności gaśniczej i jakości rozpylenia.

Na podstawie uzyskanych wyników zestawionych w tabeli 1 i pokazanych na ryc. 9-11 można sformułować następujące wnioski:

1. Dla obydwu analizowanych kątów rozpylenia wartość średnicy D_v rośnie wraz ze wzrostem wydajności. Zależność tę można w przybliżeniu aproksymować funkcją liniową.
2. W badaniach obejmujących różne wydajności i kąty rozpylenia otrzymano szeroki zakres średnich arytmetycznych średnic kropel mieszczący się w granicach od 476,8 µm do 713,5 µm. Najmniejsze krople uzyskano dla kąta rozpylenia 60° i wydajności 200 dm³/min, natomiast największe krople uzyskano dla tego samego kąta, ale przy wydajności 400 dm³/min. Stąd wynika wniosek, że wydajność prądownicy ma istotny wpływ na wielkość uzyskanych kropel.
3. Krople charakteryzujące się najmniejszą wartością wskaźnika WSO, czyli najbardziej zbliżone do założonej
1. For both analysed spray angles the D_v diameter value increases along with the increase in flow rate. This correlation can be approximated using a linear function.
2. In tests involving various flow rates and spray angles, a wide range of average arithmetic means of droplet diameters – between 476.8 µm and 713.5 µm – was obtained. The smallest droplets were produced at a 60° angle with a flow rate of 200 dm³/min; the biggest droplets were produced at the same angle but with a 400 dm³/min flow rate. This leads to the conclusion that nozzle flow rate has a crucial impact on the size of the produced droplets.
3. The droplets with the smallest WSO value, i.e. the closest to the assumed optimum diameter, were obtained with the following parameters: spray angle 60° and 200 dm³/min (WSO=152,8 µm) flow rate. The highest WSO value (the least effective in firefighting) were obtained with the following parameters: spray angle 60° and 400 dm³/min (WSO=371,2 µm) flow rate.
4. The best spray quality with the lowest WNR value was obtained with the following parameters: spray angle 30° and 300 dm³/min (WNR=20,2 µm) flow rate and the worst spray quality was with the same angle and 200 dm³/min (WNR=119 µm) flow rate.
5. As for the highest firefighting effectiveness of the stream, despite a not-so--good spray quality, with the nozzle tilt angle at 30° the authors recommend the following nozzle parameters spray angle 60° and 200 dm³/min flow rate.
6. The obtained results and their analysis allow us to conclude that the Turbo Master 52 nozzle fulfils the criteria of a universal nozzle and can be used in most rescue and firefighting operations.

The conducted research did not allow a more detailed analysis of the impact of the nozzle's flow rate on the distribution of droplet diameters in a spray stream due the insufficient number of tested flow rates (for statistical reasons it is recommended to conduct the experiment for at least 7 different flow rates). Nevertheless, the obtained results for 3 different flow rates allowed us to conduct an initial qualitative analysis of this factor's impact on the average diameter of water droplets in a spray stream, which determines firefighting effectiveness. In the short term The Main School of Fire Service, as part of its statutory activities, is planning to conduct more detailed

średnicy optymalnej, otrzymano przy następujących parametrach: kąt rozpylenia 60° i wydajność 200 dm^3/min (WSO=152,8 μm). Z kolei krople charakteryzujące się największą wartością WSO (najgorsze z punktu widzenia skuteczności gaśniczej) otrzymano przy następujących parametrach: kąt rozpylenia 60° i wydajność 400 dm^3/min (WSO=371,2 μm).

4. Najlepszą jakość rozpylenia charakteryzującą się najmniejszą wartością wskaźnika WNR otrzymano przy następujących parametrach: kąt rozpylenia 30° i wydajność 300 dm^3/min (WNR = 20,2 μm), natomiast najgorszą jakość rozpylenia przy tym samym kącie rozpylenia ale wydajności 200 dm^3/min (WNR = 119 μm).
5. Ze względu na największą skuteczność gaśniczą strumienia, pomimo nienajlepszej jakości rozpylania, autorzy przy kącie pochylenia prądownicy 30° zalecają następujące parametry prądownicy: kąt rozpylenia 60° i wydajność 200 dm^3/min.
6. Uzyskane wyniki oraz ich analiza pozwalają stwierdzić, że prądownica Turbo Master 52 spełnia kryteria prądownicy uniwersalnej i może być stosowana do większości akcji ratowniczo-gaśniczych.

Przeprowadzone badania nie pozwoliły na bardziej szczegółowe przeanalizowanie wpływu wydajności prądownicy na rozkład średnic kropel w strumieniu rozpylonym ze względu na zbyt małą liczbę zastosowanych wydajności (ze względów statystycznych wskazane byłoby przeprowadzenie eksperymentu dla minimum 7 różnych wydajności). Niemniej jednak otrzymane wyniki dla 3 różnych wydajności pozwalają na wstępną analizę jakościową wpływu tej wielkości na średnią średnicę kropel wody w strumieniu rozpylonym, od której zależy jego efektywność gaśnicza. W najbliższym czasie w Szkole Głównej Służby Pożarniczej w ramach pracy statutowej planowane są bardziej szczegółowe badania strumieni rozpylonych różnych prądownic wodnych i lanc gaśniczych obejmujące większą liczbę wydajności i punktów pomiarowych.

Literatura/Literature

[1] Bielecki P., *Podstawy taktyki gaszenia pożarów*, Kraków 1996.
[2] Farley J., Scheffey J., Naval Research Laboratory - US Navy - NRL Ltr Rpt 6180/0798.2, Nov 17 1994.
[3] Gałaj J., Kieliszek S., *Badanie wpływu niektórych własności geometrycznych dysz na parametry strumienia rozpylonego*, „Prace Naukowe Politechniki Radomskiej: Transport" 2004, 2(20).
[4] Gałaj J., Drzymała T., *Badanie wpływu ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego wytwarzanego przez dyszę naddźwiękową*, „Prace Naukowe Politechniki Radomskiej: Transport" 2005, 3(23).
[5] Gałaj, J., Drzymała, T. Projekt rozwojowy nr O ROB 0010 03 001 „Nowoczesne narzędzia inżynierskie do wspomagania decyzji, przeznaczone dla dowódców podczas działań ratowniczo-gaśniczych PSP w obiektach budowlanych". Sprawozdanie z IV etapu, Warszawa 2014.
[6] Gil D., Placek P., *Wyposażenie techniczne – armatura wodna i pianowa*, Częstochowa 2003.
[7] Grimwood P., *Rozgorzenie i techniki operowania prądami wodnymi*, www.firetactics.com, [dostęp: 30.04.2016].
[8] Grimwood P., *Flashover & Nozzle Techniques, Tactical Firefighting*, Crisis & Emergency Management Centre, London 2002
[9] Grimwood, P., *Fire-fighting flow-rate*, 2005. https://firenotes.ca/download/Flow_Rates_for_Firefighting.pdf [accessed: 30.04.2016].
[10] Kaleta A., *Wpływ rozdrobnienia strumienia wodnego na jego skuteczność gaśniczą. Warszawa*, BIT KGSP 1985, 2.
[11] Kamiński A. *Sytuacje pożarowe, siły i środki niezbędne w działaniach taktycznych*, Wydawnictwo SGSP, Warszawa 1998, 111.
[12] KAMIKA Zakład Elektronicznej Aparatury Pomiarowej, AWK SYSTEM. Analiza Wielkości Cząstek KμK, Warszawa 1999.
[13] Kochan Ł., *Badanie własności przepływowych wybranych prądownic wodnych aktualnie stosowanych w działaniach PSP*, Praca inżynierska SGSP, Warszawa 2014.
[14] Kokot-Góra Sz., *Techniki operowania prądami gaśniczymi*, Air Press, Opole 2015.
[15] Kolman R., *Badanie wpływu wybranych parametrów geometrycznych dyszy i ciśnienia zasilania na parametry strumienia rozpylonego*, Praca magisterska, SGSP, Warszawa 2004.
[16] Mawhinney J., Richardson J., *A Review of Water Mist Fire Suppression Research and Development*, „Fire Technology" 1996, 54-90.
[17] Mawhinney J.R., *Engineering Criteria for Water Mist Fire Suppression Systems*, Ottawa 1993.
[18] Orzechowski Z., Prywer J., *Wytwarzanie i zastosowanie rozpylonej cieczy*, WNT, Warszawa 2008.
[19] Orzechowski Z., Prywer J., Zarzycki R., *Mechanika płynów w inżynierii środowiska*, WNT, Warszawa 1997.
[20] Orzechowski Z., Prywer J., *Rozpylanie cieczy*, WNT, Warszawa 1991.
[21] Placek P., *Sprzęt i armatura wodna*, Warszawa 2011.
[22] Tabaka, D., *Analiza wpływu wydajności na rozkład średnic kropel i intensywność zraszania w strumieniu rozpylonym wytwarzanym przez prądownicę Turbo Master 52*, Praca inżynierska SGSP, Warszawa 2016.
[23] http://www.iafss.org/publications/frn/author/1551, [dostęp: 30.04.2016].
[24] Sklep internetowy Florian, http://florian.sklep.pl/, [dostęp: 30.04.2016].
[25] PN-EN 15182-1:2007 Prądownice dla straży pożarnej. Część 1. Wymagania ogólne.
[26] PN-EN 15182-2:2007 Prądownice dla straży pożarnej. Część 2. Prądownice uniwersalne PN 16.

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania:
Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" - typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.5

* * *

dr hab. inż. Jerzy Gałaj, prof. SGSP – w roku 1979 ukończył Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Jest profesorem nadzwyczajnym na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Katedrze Techniki Pożarniczej. Pełni funkcję kierownika Zakładu Hydromechaniki i Przeciwpożarowego Zaopatrzenia w Wodę. Jest autorem ponad stu publikacji naukowych w czasopismach zagranicznych i krajowych. Uczestniczył aktywnie w ponad 40 konferencjach międzynarodowych i brał udział w ponad 10 projektach badawczo-rozwojowych. Jego główne zainteresowanie skupia się obecnie na komputerowym modelowaniu pożarów i procesów gaszenia oraz badaniu spalania różnych materiałów w szczególności tworzyw sztucznych.
Jerzy Gałaj, Ph.D., professor at SGSP (The Main School of Fire Service). In 1979 he graduated from the Faculty of Power and Aeronautical Engineering at the Warsaw University of Technology. He is an Associate Professor at the Faculty of Fire Safety Engineering (Department of Fire Fighting Technical Science). He is the head of the Institute of Hydromechanics and Firefighting Water Supply. He is the author of over 100 science publications in domestic and foreign magazines. He presented his work in over 40 international conferences and took part in over 10 R&D projects. His main interests are presently focused on computer-aided fire and extinguishing process modelling and research into the combustion of various materials, in particular plastics.

dr inż. Tomasz Drzymała – absolwent studiów magisterskich Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, którą ukończył w 2004 roku na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Pracę zawodową rozpoczął w 2004 roku na stanowisku asystenta w Zakładzie Hydromechaniki i Przeciwpożarowego Zaopatrzenia w Wodę. Od 2011 roku zajmuje stanowisko kierownika Zakładu Podstaw Budownictwa i Materiałów Budowlanych w Katedrze Bezpieczeństwa Budowli. W ramach rozwoju naukowego bierze aktywny udział w konferencjach krajowych i zagranicznych, publikuje w czasopismach fachowych. Jest autorem oraz współautorem kilkudziesięciu artykułów i publikacji naukowych o tematyce dotyczącej ochrony przeciwpożarowej oraz budownictwa. Jego główne zainteresowanie skupia się obecnie na komputerowym modelowaniu procesów gaszenia oraz badaniu wpływu wysokich temperatur na zmianę właściwości materiałów kompozytowych.
Tomasz Drzymała, Ph.D. – In 2004 he completed his full-time Master's degree studies at the Faculty of Fire Safety Engineering of the Main School of Fire Service in Warsaw. He started his professional career in 2004 as an assistant at the Institute of Hydromechanics and Firefighting Water Supply. Since 2011 he has been the head of the Institute of Construction Fundamentals and Building Materials at the Construction Safety Department. In his academic path, he presents his papers at domestic and foreign conferences and publishes in professional magazines. He s the author and co-author of several dozen articles and science publications on fire protection and construction. His main interests currently include computer-aided extinguishing processes modelling and research into the influence of high temperatures on the properties of composite materials.

inż. Daniel Tabaka – absolwent studiów I stopnia na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej.
Daniel Tabaka, Eng. – He received his bachelor's degree from the Faculty of Fire Safety Engineering at The Main School of Fire Service.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 63–72

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.6

mł. bryg mgr inż. **Agata Domżał**[1]
st. bryg. dr inż. **Waldemar Wnęk**[1]
mgr inż. **Mateusz Prokop**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 02.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Zależność rozdziału wody od współczynnika przepływu dla wybranych tryskaczy ESFR[2]

The Dependence of Water Distribution on the Flow Coefficient of Selected ESFR Sprinklers

Зависимость распределения воды от коэффициента расхода для выбранных спринклеров ESFR

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie wyników badań laboratoryjnych dla wybranych tryskaczy szybkiego reagowania o średnicy 20 mm tzw. ESFR (Early Supression Fast Response). Tryskacze były poddane badaniu na rozkład wody poniżej i powyżej deflektora w celu ustalenia proporcji rozkładu wody nad przestrzenią planowaną do zabezpieczenia przez instalację tryskaczową. Opisano metodykę badawczą, podano zmierzone parametry wpływające na wyniki badań oraz wskazano przykłady zastosowania badanych tryskaczy w warunkach rzeczywistych.
Wprowadzenie: Pożary stanowią duże zagrożenie dla zdrowia i życia ludzi. W związku z tym poszukiwane są rozwiązania w zakresie elementów liniowych instalacji tryskaczowych, które umożliwią podawanie jak największej ilości wody na palącą się substancję. Elementem wpływającym na efektywność gaszenia jest równomierność zraszania oraz rozdział wody. Innymi słowy, ile wody podawane jest na powierzchnię pod tryskaczem, a ile na strop budynku.
Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie wyników badań laboratoryjnych przeprowadzonych według normy PN-EN 12259-1. Stałe urządzenia gaśnicze. Podzespoły urządzeń tryskaczowych i zraszaczowych. Część 1: Tryskacze.
Wnioski: Instalacje tryskaczowe umożliwiają zwalczenie pożaru w pierwszej fazie jego wystąpienia oraz zapobiegają jego rozprzestrzenianiu się. Ich główną zaletą jest selektywne działanie, pozwalające na ograniczenie akcji gaśniczej tylko do miejsca wystąpienia pożaru, a więc zredukowanie strat spowodowanych działaniem wody.
Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że:
- tryskacze ESFR jako elementy liniowe instalacji tryskaczowej zraszają powierzchnię z dużą intensywnością zależną od ciśnienia, sięgającą dla badanych elementów powyżej 460 l/min,
- duże intensywności zraszania generują potrzebę postawienia szczególnych wymagań co do rozmieszczania i doboru rodzaju instalacji tryskaczowej,
- na rozdział rozpraszanej wody poniżej, jak i powyżej deflektora ma wpływ współczynnik przelotowości K badanych tryskaczy,
- przy wzroście współczynnika K wzrasta rozdział wody, co powoduje zmianę w postaci wzrostu ilości wody poniżej deflektora dla badanego tryskacza wiszącego,
- przy wzroście współczynnika K w funkcji ciśnienia osiągane są większe zmiany wydajności wodnej tryskaczy poniżej, jak i powyżej deflektora.

Słowa kluczowe: stałe urządzenie gaśnicze, tryskacz, deflektor, rozdział wody
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The purpose of this paper is to present the results from experiments involving the distribution of water from selected quick-response sprinklers with a diameter of 20 mm, known as Early-Suppression Fast-Response (ESFR) sprinklers.
Introduction: Fires are the cause of great risks to human life and health. There is a search for solutions to address the linear elements of sprinkler systems which facilitate the delivery of the maximum volume of water onto materials exposed to a fire. The elements which influence extinguishing effectiveness include the uniformity of spray and the dispersion of water. In other words, the volume of water delivered to the surface area beneath the sprinkler and to the roof of a building.

[1] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service, Warsaw, Poland / Poland; adomzal@sgsp.edu.pl;
[2] Procentowy wkład merytoryczny w przygotowanie artykułu / Percentage contribution: A. Domżał – 45%; W. Wnęk – 45%; M. Prokop – 10%;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.6

Methodology: The paper was based on research results derived from studies conducted in accordance with PN-EN 12259-1, dealing with fixed extinguishing systems - elements of sprinkler systems, Part 1, Sprinklers. Sprinklers were tested for water distribution above and below the deflector to establish the proportion of water distributed above the protected area. The testing methodology was appropriately described and the parameters which influenced the results were identified. Additionally, the use of tested sprinklers was exemplified in real-life conditions.
Conclusions: Sprinkler systems facilitate the successful extinguishing of fires during the initial phase of fire development and also prevent the propagation of flames. The main advantage of sprinkler systems is their selective operation. By concentrating extinguishing activities on the immediate area of a fire, potential damage caused by water activity are reduced. The experimental results demonstrate that
depending on pressure, ESFR sprinklers used as linear elements in a sprinkler installation can spray an area with considerable intensity. For the tested elements, achieved levels were in excess of 460 l/min,
– a high spray intensity can mean different requirements for the location and application of sprinklers,
– water distribution above and below the deflector can be influenced by the K-factor of tested sprinklers,
– increasing the K-factor intensified the distribution of water, which in turn increased the amount of water below the deflector of a suspended test sprinkler,
– by increasing the K-factor as a function of pressure, greater changes are achieved in the water output of sprinklers above and below the deflector.

Keywords: fixed extinguishing systems, sprinkler, deflector, water distribution
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью данной статьи было представление результатов лабораторных испытаний выбранных спринклеров быстрого реагирования диаметром 20 мм, так называемых ESFR (Early Supression Fast Response). Спринклеры были протестированы на распределение воды выше и ниже дефлектора с целью определения пропорции распределения воды над обеспечиваемой спринклерной системой поверхностью. Была описана методика исследования, указаны измеряемые параметры, влияющие на результаты испытаний и определены примеры использования исследуемых спринклеров в реальных условиях.
Введение: Пожары представляют собой большую угрозу жизни и здоровью людей. Проводятся поиски решений линейных элементов спринклерных систем, которые позволяют подать максимально большое количество воды на горящее вещество. Фактором, влияющим на эффективность огнетушения, является равномерность орошения и распределение воды. Иначе говоря, сколько воды подается на поверхность под спринклером, а сколько на потолок здания.
Методология: Статья была разработана на основе результатов лабораторных испытаний, проведенных в соответствии со стандартом EN 12259-1. Стационарные системы пожаротушения. Элементы спринклерных и водораспылительных систем. Часть 1. Спринклеры.
Выводы: Спринклерные системы позволяют ликвидировать пожар на первой стадии возникновения и предотвращают его распространение. Их основным преимуществом является селективное действие, позволяющее ограничивать область гасящего действия только до места пожара, тем самым снижая потери, вызванные действием воды.
Проведенные исследования показывают, что:
– спринклеры ESFR, в качестве линейных компонентов спринклерной инсталляции, поливают поверхность с высокой интенсивностью в зависимости от давления, достигая в тестовых пунктах более 460 л/мин,
– высокая интенсивность орошения вызывает другие требования относительно расположения и выбора типа спринклерной инсталляции,
– на распределение рассеиваемой воды ниже и выше дефлектора влияет коэффициент расхода к исследуемым спринклерам,
– при увеличении коэффициента расхода K увеличивается распределение воды, что приводит к увеличению количества воды ниже дефлектора для исследуемого спринклера,
– при повышении коэффициента расхода K в функции давления достигаются большие изменения в производительности воды спринклерной системой ниже и выше дефлектора.

Ключевые слова: стационарные установки пожаротушения, спринклер, дефлектор, распределение воды
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Stałe urządzenia gaśnicze to systemy trwale związane z zabezpieczanym obiektem, które uruchamiane są samoczynnie we wczesnej fazie pożaru. Są one wyposażone w środek gaśniczy, którym w przypadku urządzeń tryskaczowych jest woda. Instalacje tryskaczowe należą do najbardziej rozpowszechnionych stałych urządzeń gaśniczych i umożliwiają stłumienie pożaru w jego początkowej fazie rozwoju. Swoją popularność na całym świecie zyskały poprzez niezwykłą skuteczność działania, którą zawdzięczają specjalnemu rozwiązaniu technicznemu – niewielkiemu elementowi termoczułemu w główce tryskacza, reagującemu na przekroczenie granicznej wartości temperatury w określonych warunkach. Przekroczenie to powoduje natychmiastowe podanie środka gaśniczego w postaci wody na obszar, w którym rozwija się pożar. Woda kierowana jest na źródło pożaru w postaci rozproszonego strumienia o wcześniej ustalonych parametrach [1].

Przed zaprojektowaniem instalacji tryskaczowej należy określić jej najważniejsze parametry, do których należą:

- maksymalna powierzchnia chroniona przez jeden try-

1. Introduction

Fixed extinguishing systems are defined as systems which are permanently connected to the protected facility, spontaneously activated at the early stages of a fire, and equipped with an extinguishing agent. In the case of sprinklers, the extinguishing agent is water. Sprinkler systems belong to the most common fixed extinguishing systems, making it possible to suppress a fire in its early stages. They have enjoyed increasing worldwide popularity due to their exceptional performance, resulting from the application of a special technological solution – a small thermosensitive element located in the sprinkler head. Once the upper temperature limit is exceeded, under certain pre-defined conditions, the device responds by immediately releasing the extinguishing agent (water). A dispersed stream of water with pre-defined parameters is directed towards the fire source [1].

Prior to designing a sprinkler system, its most crucial parameters need to be determined, including:

- the maximum area to be protected by the sprinkler (i.e. the area located directly below the sprinkler, for which sufficient spraying intensity is required [m^2]),

skacz (powierzchnia znajdująca się bezpośrednio pod tryskaczem, dla której wymagane jest zachowanie odpowiedniej intensywności zraszania [m^2]),
- intensywność zraszania (minimalna ilość wody [mm/min] wyznaczana jako stosunek ilości wody wypływającej z określonej grupy tryskaczy [l/min] do wielkości chronionej przez nie powierzchni [mm/min]),
- powierzchnia działania (przyjmowana do obliczeń powierzchnia, nad którą przewiduje się otwarcie tryskaczy, umiejscowiona najbardziej niekorzystnie w stosunku do zasilania [m^2], dawniej: powierzchnia obliczeniowa),
- minimalny czas działania (czas, w jakim wymagane jest zapewnienie odpowiedniego ciśnienia i natężenia przepływu na potrzeby działania urządzenia tryskaczowego, inaczej: czas gaszenia [min]).

Tryskacze typu ESFR stały się bardzo popularne przede wszystkim na rynku amerykańskim. Skrót ESFR oznacza wczesne tłumienie pożaru przez szybką reakcję – *early suppression fast response*. Główną ideą tej technologii wykonania tryskaczy jest osiągnięcie maksymalnego efektu w jak najkrótszym czasie poprzez bardzo szybkie wyzwolenie się instalacji tryskaczowej i tym samym rozpoczęcie skutecznego procesu tłumienia pożaru [2]. W instalacji takiej montuje się szybko działające tryskacze o dużej wydajności, które odpowiednią ilością wody o wysokim ciśnieniu tłumią pożar w jego zarodku. Takie instalacje przeznaczone są jednak tylko i wyłącznie do określonych rodzajów zagrożeń. Tryskacze ESFR, w przeciwieństwie do standardowych tryskaczy, mogą nie zadziałać prawidłowo przy niekorzystnych założeniach projektowych. W związku z tym podczas stosowania tryskaczy ESFR należy przestrzegać wszystkich wymagań określonych w standardach projektowych, takich jak VdS CEA 4001 czy też NFPA 13. Nominalna wartość stałej wypływu K dla tryskaczy ESFR wynosi od 200 do 360 [3], a dla porównania dla tryskaczy klasycznych od ok. 57 do ok. 115. Tryskacze ESFR należy instalować tylko w budynkach ze stropami i dachami o spadku poniżej 170 mm/m. W przypadku dachów lub stropów o spadku większym niż 170 mm/m należy zamontować sufit podwieszony, wykonany z materiału niepalnego. W takich przypadkach tryskacze ESFR powinny być instalowane pod sufitem podwieszonym. Ponad sufitem podwieszonym należy z kolei instalować tylko tryskacze klasyczne. W budynku z zainstalowanymi tryskaczami ESFR stropy konstrukcyjne powinny wytrzymać skierowane do góry obciążenie wynoszące 150 N/m^2. Z kolei sufity podwieszane muszą wytrzymać skierowane do góry obciążenie równe 50 N/m^2 [3]. Przed zastosowaniem tryskaczy ESFR należy również upewnić się, czy są one prawidłowo dobrane względem kategorii zagrożenia w chronionej przestrzeni. Według wytycznych VdS CEA 4001 [3] tryskacze ESFR nie nadają się do ochrony m.in.:

- miejsc składowania materiałów palnych o specyficznym przebiegu pożaru, w tym rolek papieru higienicznego,
- otwartych zbiorników palnych na ciecze,
- magazynów, dla których nie można przewidzieć rodzaju składowanego materiału oraz sposobu składowania,
- materiałów zaliczanych do specjalnych kategorii zagrożeń, takich jak: aerozole, alkohole, czy też tworzywa sztuczne.

Zgodnie z amerykańską normą NFPA 13 [4] instalacje tryskaczowe z tryskaczami ESFR mogą być jedynie instalacjami wodnymi. Kombinacja instalacji tryskaczowych ESFR oraz systemów usuwania dymu i ciepła nie jest pod żadnym warunkiem dozwolona. Jeżeli jednak montaż systemów oddymiania jest konieczny ze względu na wymagania prawne, wówczas można uruchamiać je tylko w sposób ręczny. Wszystkie otwory w dachu muszą zamykać się automatycznie przed otwarciem się instalacji ESFR, jednak nie później niż 30 sekund po otwarciu się pierwszego tryskacza. Inne otwory, np. świetliki dachowe, powinny tworzyć z powierzchnią dachu jedną płaszczyznę lub

- the spraying intensity (the minimum amount of water [mm/min], determined as the relationship of the amount of water flowing from a given group of sprinklers [l/min] to the size of the protected area [mm/min]),
- the area of application (the area above which the opening of sprinklers is assumed for calculation purposes, located in the least advantageous position in relation to the supply source [m^2], previously referred to as the calculation area),
- the minimum time of application (the period during which the appropriate pressure and flow intensity are required for the proper sprinkler operation, also referred to as the extinguishing time [min]).

ESFR sprinklers have become extremely popular, especially on the American market. The principal idea of *Early-Suppression-Fast-Response* (ESFR) technology is to achieve the maximum effect as fast as possible, through prompt activation of the sprinkler system, which efficiently triggers the fire suppression process [2]. Such systems make use of quickly operating high-capacity sprinklers which are capable of extinguishing a fire at an early phase by using the right amount of water. However, ESFR sprinklers are intended exclusively for certain types of threat. Contrary to standard sprinklers, they can prove ineffective with certain less advantageous design assumptions. As a result, when using ESFR sprinklers, all the requirements specified in the design standards, including VdS CEA 4001 and NFPA 13, must be strictly complied with. The nominal outflow coefficient (K-factor) value for ESFR sprinklers ranges from 200 to 360 [3], and for classic sprinklers from approximately 57 to approximately 115. ESFR sprinklers can only be installed in buildings with roof and ceiling slopes of less than 170 mm/m. For slopes exceeding 170 mm/m, suspended ceilings made of inflammable materials are required. In the latter case, ESFR sprinklers should be mounted under the suspended ceiling, above which only classic sprinklers are permitted. The structural floors in buildings where ESFR sprinklers are installed should be capable of withstanding an upward load of 150 N/m^2, whereas for suspended ceilings an upward load value of 50 N/m^2 [3] is required. Prior to the use of a certain type of ESFR sprinklers, one needs to make sure that they have been satisfactorily selected in terms of the threat category pertaining to the protected area. In accordance with the VdS CEA 4001 Guidelines [3], ESFR sprinklers are not suitable, *inter alia*, for:

- places where flammable materials with a special burning process are stored, e.g. rolls of tissue paper,
- open tanks with flammable substances,
- warehouses for which it is not possible to anticipate the type of materials stored and the storage method
- materials classified into special-risk categories, such as aerosols, alcoholic beverages and plastics.

In accordance with the U.S. NFPA 13 Standard [4], ESFR sprinkler systems can only be water-based systems. The combination of ESFR sprinkler systems with systems for smoke and heat removal should not be allowed under any circumstances. However, if the assembly of smoke-removal systems is necessary for legal reasons, their manual activation should only be permitted. All roof openings must close automatically prior to the ESFR system's activation, and at any rate within 30 seconds after the opening of the first sprinkler. Any other openings, e.g., roof lights, should form a uniform plane with the roof surface, or an additional enclosed surface should be designed within the roof plane. The material used to manufacture roof lights must withstand a temperature of 300°C for at least 5 minutes [4].

While performing calculations for hydraulic ESFR sprinkler systems, in accordance with the VdS CEA 4001 Guidelines [3], the area of application must correspond to the area

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.6

na płaszczyźnie dachu powinna zostać zaprojektowana dodatkowa zamknięta powierzchnia. Materiał, z którego wykonane są świetliki dachowe, muszą wytrzymać działanie temperatury 300°C w ciągu co najmniej 5 minut [4].

Przy obliczeniach hydraulicznych instalacji tryskaczowej ESFR, zgodnie z wytycznymi VdS CEA 4001 [3], przyjęta powierzchnia działania musi odpowiadać powierzchni chronionej przez 12 tryskaczy podstropowych i nie może być mniejsza niż 90 m^2. Maksymalna powierzchnia chroniona przez tryskacz ESFR powinna wynosić nie więcej niż 9 m^2 (nie może być mniejsza niż 7,5 m^2). Dopuszczalne odległości pomiędzy tryskaczami są zależne od wysokości pomieszczenia. Element wyzwalający tryskacza powinien być umieszczony pod stropem lub dachem w odległości od 0,1 do 0,33 m (tryskacze K = 200) lub od 0,1 do 0,45 m (K = 360). Pomiędzy obszarami chronionymi przez tryskacze ESFR a obszarem z tryskaczami klasycznymi powinny być zainstalowane pionowe osłony. Dotyczy to zarówno stropów o takiej samej, jak i różnej wysokości. Osłony takie powinny sięgać 1,2 m pionowo w dół od stropu, szczelnie do niego przylegać oraz być niepalne. Ponadto przy zastosowaniu w budynkach magazynowych tryskaczy ESFR na pierwszy rzut oka zaburzona zostaje elastyczność w sposobach składowania materiałów. Przy zastosowaniu tego typu tryskaczy nie trzeba jednak wykonywać prac dopasowujących do instalacji tryskaczowej na przykład w przypadku, kiedy muszą być zmienione poziomy składowania w systemach regałowych spowodowane rozmiarem materiału.

Biorąc pod uwagę różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych budynków, bardzo istotna jest wiedza nie tylko na temat podstawowych parametrów urządzeń wodnych, ale również na temat rozdziału wody bezpośrednio w dół w celu ochrony przestrzeni pod tryskaczem, a także w górę w celu ochrony przestrzeni stropowych lub ich chłodzenia [2].

Tryskacze ESFR instaluje się głównie w halach magazynowych, pod stropem, gdzie z technicznych powodów nie jest możliwe stosowanie tryskaczy wewnątrz regałów. Nadają się one do gaszenia określonych grup pożarów. Ponadto mogą być stosowane tylko w systemach, gdzie rurociągi instalacji tryskaczowej są stale nawodnione.

protected by 12 ceiling sprinklers and may not be smaller than 90 m^2. The maximum protection area per ESFR sprinkler should not be greater than 9 m^2 (or smaller than 7.5 m^2). The permissible distance between sprinklers depends on the room height. The sprinkler-release element should be located under the ceiling or roof, at a distance of 0.1 to 0.33 m (sprinklers, K = 200) or 0.1 to 0.45 m (K = 360). Emergency shutdowns should be installed between the ESFR sprinkler protection areas and the areas protected by classic sprinklers. This concerns ceilings of both the same and different heights. The shutdowns should reach 1.2 m down the ceiling and should tightly stick to it. It must also be inflammable. Furthermore, when using ESFR sprinklers in warehouse buildings, the flexibility of material storing may seem distorted at first glance. Nonetheless, no adjustments to the ESFR sprinkler system are necessary, for instance, in the case of changes to the storage levels of the in-rank systems being required due to material sizes.

Taking into account the diversity of the structural solutions employed in buildings, it is of utmost importance to be familiar not only with the basic parameters of the water-based devices but also with the direct distribution of water, both downwards – to ensure the adequate protection under the sprinkler, and upwards – to protect or cool the floor areas [2].

ESFR sprinklers are most frequently installed in warehouse facilities, under the upper floor slab, where the use of in-rack sprinklers proves impossible for technical reasons. They can be used to extinguish certain types of fire. In addition, their application is possible only where sprinkler system pipes are continuously irrigated.

Tabela 1. Wyłączenia z ochrony tryskaczami ESFR [3-4]

VdS – CEA 4001	NFPA 13
• składowanie materiałów o specjalnym przebiegu pożaru np. rolki papieru higienicznego • zbiorniki palne, otwarte u góry • nietypowe sposoby składowania lub materiały, dla których nie udowodniono przydatności ochrony tryskaczami ESFR w testach pożarowych lub na podstawie analiz • magazyny, dla których nie można przewidzieć rodzaju składowanego materiału i sposobu składowania • specjalne zagrożenia (aerozole, ciecze palne, napoje alkoholowe, tworzywa sztuczne PP, PE, PS)	• magazynowanie na regałach z półkami litymi • magazynowanie na regałach w pojemnikach otwartych u góry

Table 1. Exclusions from ESFR sprinkler protection [3-4]

VdS – CEA 4001	NFPA 13
• The storage of materials with a special burning process, e.g. a roll of tissue paper • Tanks with flammable substances, open at the top • Unusual storage methods or materials for which there is no proven usefulness identified during ESFR sprinkler protection investigations, in fire test conditions or based on analyses • Warehouses for which it is not possible to anticipate the type of material stored and the storage method • Special risks associated with aerosols, flammable liquids, alcoholic beverages, plastics PP, PE, PS)	• Storage on racks with solid wood shelving • Storage on racks, in containers open at the top

2. Opis stanowiska badawczego

Stanowisko badawcze do badania rozdziału wody składa się z następujących elementów (ryc. 1.):

- komory badawczej o wymiarach 140 x 60 x 70 cm,
- zbiornika pośredniego o pojemności 5 m^3,
- pompy CRE 16-60,
- przepływomierza z przetwornikiem sygnału Q_{max} = 500 l/min, przy maksymalnym ciśnieniu 10 bar,
- ciśnieniomierza do 10 bar,
- układu sterowania.

3. Metodyka przeprowadzonych badań

Badanie polega na zmierzeniu ilości wody, która gromadzi się w odpowiedniej części komory badawczej (jedna część komory zbiera wodę poniżej rozpryskiwacza, druga powyżej) przy przepływie do 100 l/min. Czas otwarcia zaworu doprowadzającego wodę przy ustalonym przepływie wynosi 60 sekund. Przy pomocy sondy do pomiaru poziomu cieczy mierzono wysokość słupa wody w obu komorach stanowiska badawczego. Następnie obliczono procentowy wypływ wody powyżej i poniżej rozpryskiwacza. Dla każdego tryskacza pomiar wykonano czterokrotnie w celu uśrednienia wyniku pomiarowego [1].

4. Wyniki przeprowadzonych pomiarów

W trakcie badań dokonano pomiaru rozdziału wody dla określonych typów tryskaczy. Uzyskane wyniki badań zostały przedstawione poniżej.

4.1. Tryskacz wiszący ESFR ASCOA model: K-1

Tryskacz typu ESFR to automatyczny tryskacz z ampułką o nominalnym współczynniku K = 14 U.S. (SI 202). Jest to tryskacz, który eliminuje potrzebę instalowania tryskaczy pomiędzy regałami do ochrony składowanych towarów. Wykorzystując tryskacze ESFR K-1, można uzyskać wyższe prędkości przepływu przy znacznie niższych wartościach ciśnienia, co sprawia, że użycie tych tryskaczy staje się bardzo korzystne w określonych przypadkach zastosowań, takich jak wysokie składowanie materiałów w stosach.

2. Experimental stand description

An experimental stand for water distribution testing comprises the following elements (Fig. 1.)

- a test chamber sized 140 x 60 x 70 cm,
- an intermediate container with a capacity of 5 m^3,
- a CRE 16-60 pump,
- a flow rate meter with a transducer Q_{max} = 500 l/min, with a maximum pressure of 10 bar,
- a pressure gauge of up to 10 bar,
- a steering system.

3. Test methodology

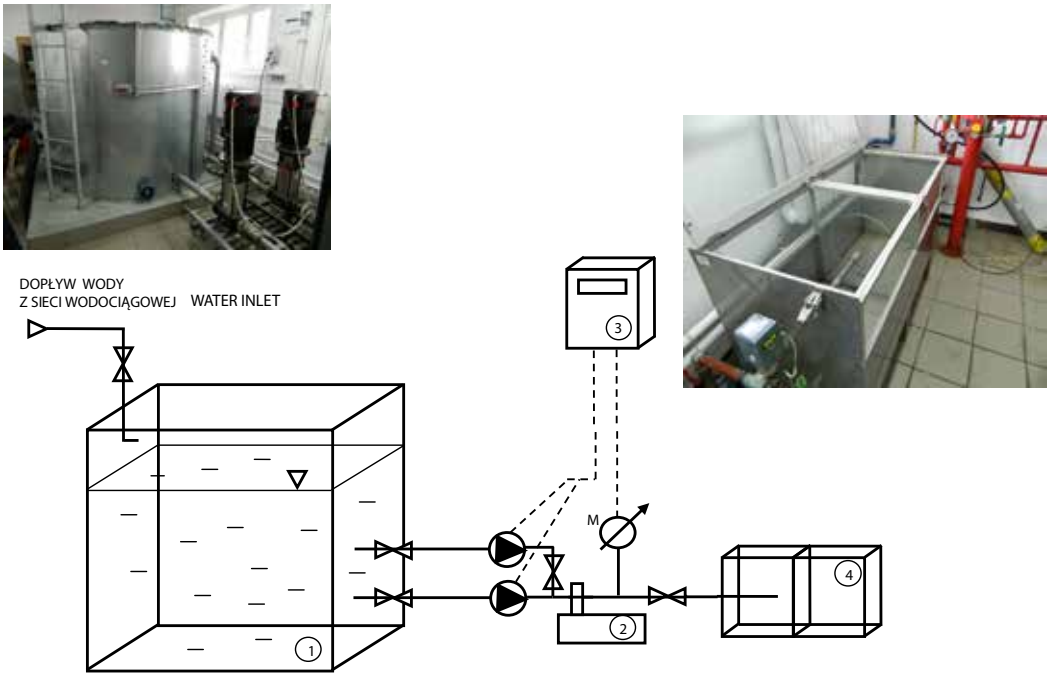
The test involved measuring the amount of water accumulating in the relevant section of the test chamber (with one section gathering water below, and the other one above, the deflector) with a flow of up to 100 l/min. The opening time of the water valve at the pre-defined flow value was 60 seconds. Using a liquid level sensor, the height of the water column was determined in both chambers of the experimental stand. Then, the percentage outflow of water above and below the deflector was measured. For each deflector, the measurement was performed four times to obtain an average measurement result [1].

4. Measurement results

The test aimed to determine the distribution of water for various types of sprinklers. The results are presented below.

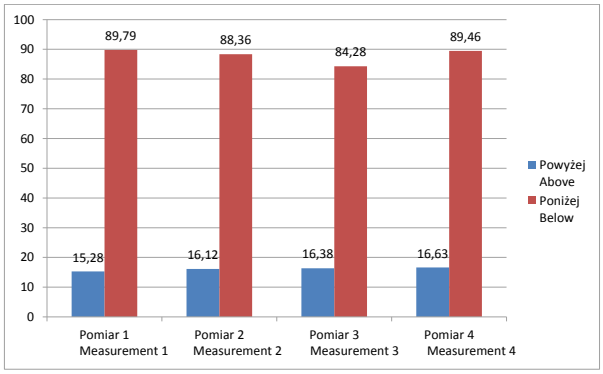
4.1. The hanging ESFR ASCOA sprinkler, type K-1

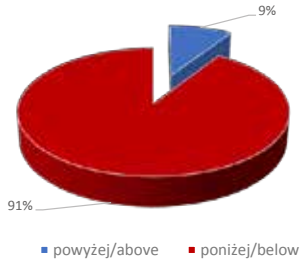
The ESFR sprinkler is an automatic sprinkler containing an ampoule, with the nominal K factor = 14 U.S. (SI 202). It eliminates the need to install sprinklers between the racks to protect stored goods. Using ESFR K-1 sprinklers, higher flow speeds can be achieved with much lower pressure, which makes the use of these devices very favourable in certain types of application, such as high storage of materials in piles.



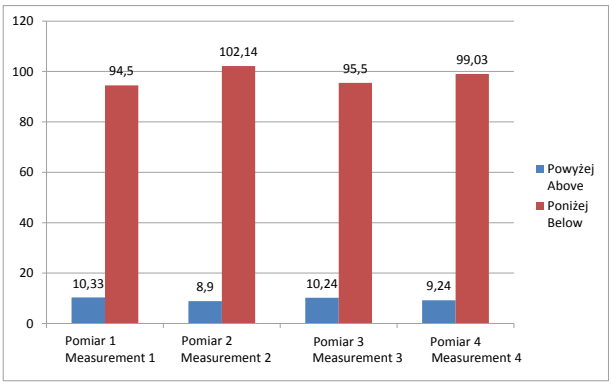
Ryc. 1. Schemat blokowy stanowiska badawczego z dwiema pompami
1 – zbiornik pośredni, 2 – przepływomierz, 3 – miernik ciśnienia, 4 - układ sterowania, 5 – komora badawcza [1]
Fig. 1. A block diagram of an experimental stand with two pumps
1 – intermediate container, 2 – flow rate meter, 3 – pressure gauge, 4 – control system, 5 – test chamber [1]

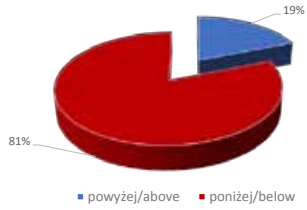
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.6





Ryc. 2. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza wiszącego ESFR ASCOA model K-1
Fig. 2. The amount of dispersed water and the average percent volume attributed to a hanging ESFR ASCOA sprinkler, type K-1
Źródło: Opracowanie własne.
Soruce: Own elaboration.





Ryc. 3. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza wiszącego Viking model VK510
Fig. 3. The amount of dispersed water and the average percent volume attributed to a hanging Viking sprinkler, type VK 510
Źródło: Opracowanie własne.
Soruce: Own elaboration.

4.2. Tryskacz wiszący wczesnego tłumienia Viking model: VK510

Tryskacz Viking, model VK510 jest to tryskacz o większym współczynniku wypływu, który działa z niższymi ciśnieniami końcowymi – inaczej niż tryskacze ESFR K14. Tryskacze VK510 są przewidziane przede wszystkim do ochrony przestrzeni magazynowych, które zwykle odpowiadają wyższym wymaganiom na wypadek wystąpienia zagrożenia pożarowego, związanego ze składowaniem materiałów na paletach, w stosach, regałach jednorzędowych, dwurzędowych i wielorzędowych oraz w przenośnych otwartych paletach regałowych (niedopuszczalne są kontenery bez pokrywy oraz półki pełne).

4.3. Tryskacz wiszący ESFR VK 500

W przypadku tryskacza wiszącego ESFR VK 500 stała K o wartości 14.0 (SI 202) pozwala na wypływ dużej ilości wody z kroplami o dużym momencie pędu, a specjalny deflektor wymusza hemisferyczny rozdział wody. Pozwala to na przenikanie wody do strefy spalania i bezpośrednie zraszanie palącej się powierzchni przy jednoczesnym chłodzeniu otoczenia. Tryskacz VK500 może być stosowany do ochrony przestrzeni magazynowych o składowaniu stawiającym wyższe wymagania w przypadku wystąpienia zagrożenia pożarowego (składowanie na paletach, w stosach, regałach jednorzędowych, dwurzędowych i wielorzędowych oraz w przenośnych otwartych paletach regałowych), w których niedopuszczalne są kontenery bez pokrywy oraz pełne półki. Można dodatko-

4.2. The early-suppression hanging Viking sprinkler, type VK510

The Viking sprinkler, type VK510, is a device with a higher outflow coefficient, which operates at lower end pressure, unlike ESFR K14 sprinklers. VK510 sprinklers are mainly intended for protecting warehousing areas which usually meet higher requirements in the event of a fire threat, resulting from the storage of materials on pallets, in piles, and on single-, double- and multiple-row racks, as well as on movable open-rack pallets (containers open at the top and solid shelves are not permitted).

4.3. The hanging ESFR VK 500 sprinkler

As regards hanging ESFR VK 500 sprinklers, the K factor of 14.0 (SI 202) facilitates the outflow of a large amount of water with drops displaying high angular momentum, and a specially designed deflector forces hemispheric water distribution. This allows water penetration into the combustion zone, ensuring direct the spraying of the burning surface and the cooling of the surrounding area. VK500 sprinklers can be used for protecting warehousing areas which must meet more stringent requirements in the event of threat (the storage of materials on pallets, in piles, and on single-, double- and multiple-row racks, as well as on movable open rack pallets), where containers open at the top and solid-wood shelves are not permitted. They can also be used for protecting such materials as paper reels, aerosols and tyres in certain storage arrangements.

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 63–72
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.6

wo chronić materiały typu papier w belach, aerozole i opony w niektórych aranżacjach składowania.

4.4. Tryskacz wiszący RASCO model H 2008

Tryskacz RASCO model H 2008 został zaprojektowany w celu dostarczania dużej ilości wody do środowiska pożarowego. Współczynnik wypływu K o wartości 16.8 (SI 242) pozwala na wypływ dużej ilości wody z kroplami o dużym momencie pędu, a specjalny deflektor i rama dostarczają szeroki i bardzo symetryczny, półkulisty rozkład wody zdolny powstrzymać ogień między tryskaczami w wysokim składowaniu materiałów palnych w magazynach i halach produkcyjnych.

4.5. Tryskacz stojący ESFR VK520

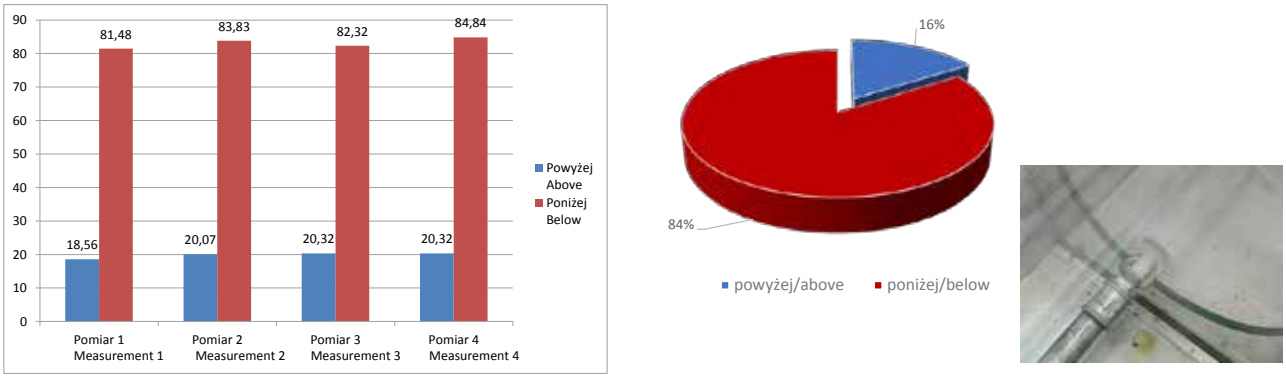
Dzięki współczynnikowi wypływu K=202 oraz specjalnemu deflektorowi, tryskacz stojący ESFR VK520 tworzy duże krople o dużej mocy przebicia, które poniżej deflektora przybierają kształt półkulisty. Taka forma gaszenia umożliwia skuteczne przenikanie wody gaśniczej do źródła pożaru oraz gaszenie powierzchni palnych cieczy przy równoczesnym chłodzeniu powietrza w bezpośrednim otoczeniu pożaru. Tryskacze te mogą chronić przestrzenie magazynowe, jednak najbardziej przydatne są do ochrony materiałów łatwopalnych i podatnych na rozległe pożary, takich jak: materiały składowane na paletach lub regałach (z wyłączeniem kontenerów otwartych od góry oraz regałów zamkniętych).

4.4. The hanging RASCO sprinkler, type H 2008

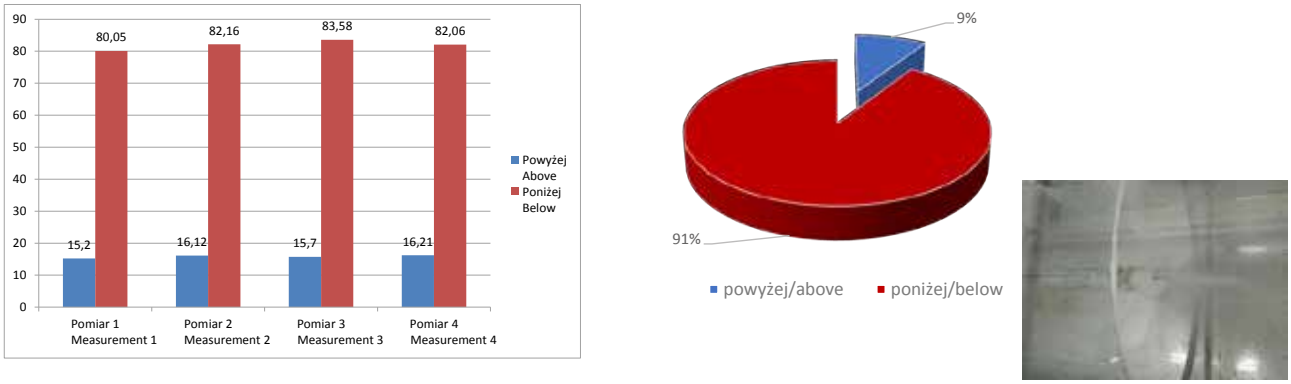
RASCO sprinklers, model type H 2008, were designed with the aim of supplying water in large quantities to the fire area. The K outflow coefficient of 16.8 (SI 242) allows the outflow of a large amount of water with drops, whereas a specially designed deflector and a bar ensure a wide and very symmetrical, hemispherical water distribution which can deal with the fire between sprinklers in the event of the high storage of flammable materials in warehouses and production halls.

4.5. The standing ESFR VK520sprinkler

Owing to the outflow coefficient K=202 and a specially designed deflector, the standing ESFR VK520 sprinkler produces large drops with high penetration capacity, which take a hemispherical shape below the deflector. Such a fire suppression form enables an efficient water penetration to the fire source, and the extinguishing of flammable liquid surfaces can proceed along with air cooling in the direct vicinity of the fire. Although these sprinklers are suitable for warehousing areas, they can best serve the purpose of protecting flammable materials, susceptible to extensive fires, such as materials stored on pallets or racks (excluding containers with open tops and closed racks).

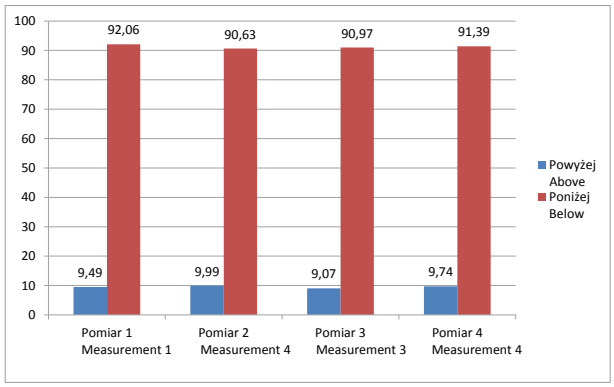


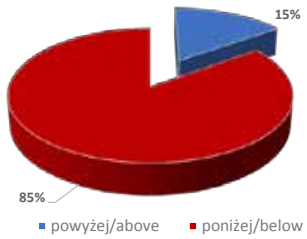
Ryc. 4. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza wiszącego ESFR VK500
Fig. 4. The amount of dispersed water and the average percent volume attributed to a hanging ESFR sprinkler, type VK 500
Źródło: Opracowanie własne.
Soruce: Own elaboration.



Ryc. 5. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza wiszącego RASCO model H 2008
Fig. 5. The amount of dispersed water and the average percent volume attributed to a hanging RASCO sprinkler, type H 2008
Źródło: Opracowanie własne.
Soruce: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.6





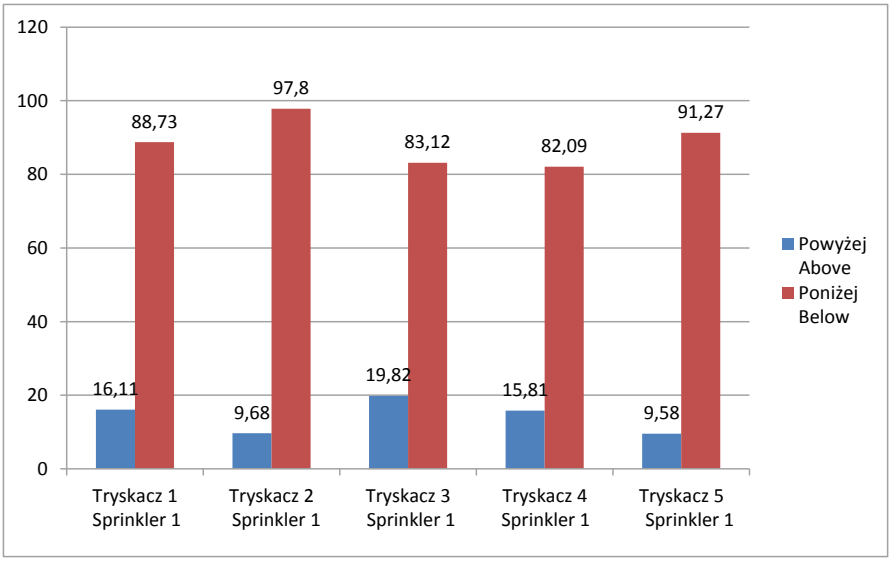
Ryc. 6. Ilość rozpraszanej wody i uśredniona procentowa ilość dla tryskacza stojącego VK520
Fig. 6. Amount of dispersed water and average percent volume attributed to a standing VK520 sprinkler
Źródło: Opracowanie własne.
Soruce: Own elaboration.

4.6. Porównanie wyników pomiarów

Tabela 2. Średni rozkład wody poniżej i powyżej deflektora
Table 2. Average distribution below and above the deflector

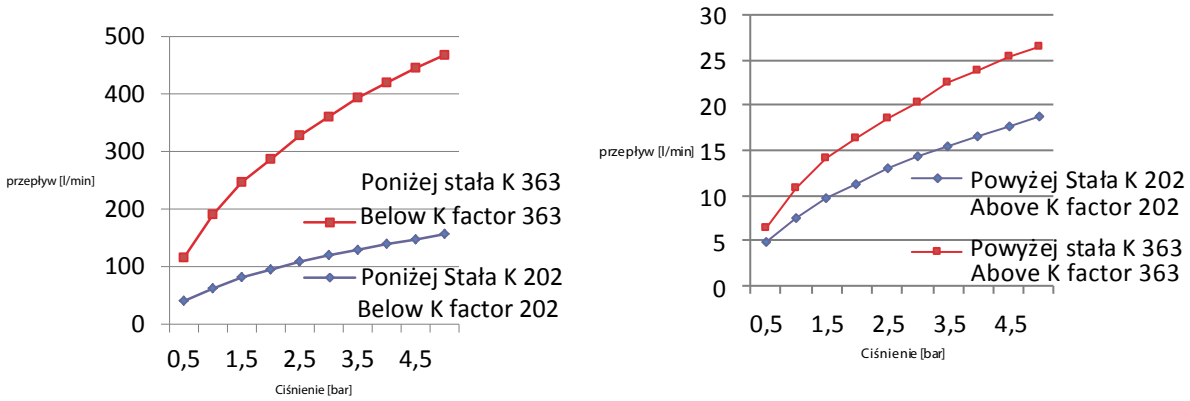
Tryskacze / Sprinklers	Średnica nominalna otworu / Nominal diameter of opening [mm]	Średnia ilość wody powyżej deflektora / Average amount of water above [dm³]	Średnia ilość wody poniżej deflektora / Average amount of water below [dm³]	Łączna ilość wody / Total amount of water [dm³]
Tryskacz 1 / Sprinkler 1	20	16,10	88,73	104,83
Tryskacz 2 / Sprinkler 2	20	9,68	97,80	107,48
Tryskacz 3 / Sprinkler 3	20	19,82	83,12	102,94
Tryskacz 4 / Sprinkler 4	20	15,81	82,10	97,90
Tryskacz 5 / Sprinkler 5	20	9,58	91,27	100,84

Źródło: Opracowanie własne.
Soruce: Own elaboration.



Ryc. 7. Porównanie badanych tryskaczy pod względem rozdziału wody
(tryskacz 1: ASCOA, tryskacz 2: VK 510, tryskacz 3: VK 500, tryskacz 4: RASCO H 2008, tryskacz 5: VK 520)
Fig. 7. A comparison of tested sprinklers in respect of water distribution
(Sprinkler 1: ASCOA, sprinkler 2: VK 510, sprinkler 3: VK 500, sprinkler 4: RASCO H 2008, sprinkler 5: VK 520)
Źródło: Opracowanie własne.
Soruce: Own elaboration.

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 63–72
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.6



Ryc. 8. Średnia ilość rozpraszanej wody poniżej i powyżej deflektora dla tryskaczy o K = 202 i K = 363
Fig. 8. The average amount of dispersed water above and below the deflector for sprinklers K = 202 and K = 363
Źródło: Opracowanie własne.
Soruce: Own elaboration.

Porównanie wyników badań tryskaczy ESFR wykazało, że największą ilość wody poniżej deflektora rozpraszał tryskacz 2 – tryskacz wiszący wczesnego tłumienia Viking model: VK510 o średnicy nominalnej otworu równej DN 20 mm i współczynniku K = 363. Natomiast najmniejszą wartością ilości rozpraszanej wody poniżej deflektora charakteryzuje się tryskacz wiszący RASCO model H 2008 o średnicy nominalnej otworu równej DN 20 mm i współczynniku K = 242. Udział rozproszonej wody poniżej rozpryskiwacza, zgodnie z normą PN-EN 12259-1, przedstawiono w tabeli 3.

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że spośród wszystkich badanych tryskaczy tryskacz wiszący Viking model: VK510 wykazał największy udział rozproszonej wody poniżej deflektora (**91%**). Tryskacz ten posiada również największy współczynnik K = 363. Natomiast najniższy udział rozproszonej wody poniżej deflektora został zarejestrowany podczas badań tryskacza wiszącego ESFR VK500. Wyniósł **80,75%**. Tryskacz posiada współczynnik K równy 202. Średni wypływ wody w dół poniżej deflektora dla badanych tryskaczy ESFR wynosi **od 85 do 100%**, co może je definiować jako tryskacze rozpylające o płaskim strumieniu rozpraszanej wody zgodnie z tabelą 3.

Następnie sprawdzono, jak wygląda rozdział ilościowy wody dla tych tryskaczy w zależności od wartości współczynnika przelotowości K.

Zgodnie z wynikami przedstawionymi na ryc. 8 na powierzchnię zraszaną pod tryskaczem kierowane jest od ponad 100 do 460 litrów na minutę przy wartości współczynnika K równej 363 lub od prawie 50 do 150 litrów na minutę przy współczynniku K = 202. Ilość wody kierowanej na sufit wynosi od 5 do 25 litrów na minutę.

4.6. Comparison of measurement results

By comparing the test results for ESFR sprinklers, it was shown that the largest amount of water below the deflector was distributed by sprinkler 2, i.e. the hanging early-suppression Viking sprinkler, type VK510, with the nominal opening diameter of DN = 20 mm and K-factor = 363. In contrast, the smallest amount of water distributed below the deflector was recorded for the hanging RASCO sprinkler, type H 2008, with the nominal opening diameter DN = 20 mm and the K-factor = 242. The shares of water distributed below the deflector, in compliance with the PN-EN 12259-1 standard, are shown in Table 3.

Based on the tests carried out, it can be concluded that from among all the sprinklers under consideration the hanging Viking sprinkler type VK510, is characterised by the highest share of water dispersed below the deflector (**91%**). This sprinkler also displays the highest value of the K-factor = 363. On the other hand, the lowest share of water distributed below the deflector was recorded for the hanging ESFR VK500 sprinkler, amounting to **80.75%**. The K-factor for this sprinkler is 202. The average outflow of water below the deflector for the ESFR sprinklers under consideration ranges **from 85 to 100%**, as a result of which these devices can be defined, in line with Table 3, as sprinklers with a flat stream of water.

Then, the quantity distribution of water for the sprinklers in question, depending on the K-factor values, was determined.

In accordance with the results presented in Fig. 8, over 100 to 460 litres of water per minute are directed towards the sprayed area below the sprinkler, with the K-factor = 363, or from nearly 50 to 150 litres per minute, with the K-factor = 202. The amount of water directed to the ceiling ranges from 5 to 25 litres per minute.

Tabela 3. Wypływ wody w dół poniżej rozpryskiwacza
Table 3. Outflow of water below the deflector

Typ tryskacza /Type of sprinkler	**Udział rozproszonej wody poniżej rozpryskiwacza / Proportion of distributed of water below the deflector**
Tryskacze klasyczne / Classic sprinklers	40% do/to 60%
Tryskacze rozpylające / Spray sprinklers	80% do/to 100%
Tryskacze rozpylające o płaskim strumieniu rozproszonej wody / Sprinklers with a flat stream of water	85% do/to 100%

Źródło: Opracowanie własne na podstawie normy PN-EN 12259-1.
Soruce: Own elaboration according to PN-EN 12259-1.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.6

5. Podsumowanie

Tryskacz ESFR to element liniowy, który posiada określoną charakterystykę rozdziału wody. Jego działanie skoncentrowane jest na maksymalnym wykorzystaniu wody do gaszenia znajdującej się pod nim powierzchni z dużą intensywnością zraszania, o określonej energii strumienia. Z przeprowadzonych pomiarów wynika, że:

- tryskacze ESFR zraszają powierzchnię z dużą intensywnością zależną od ciśnienia, sięgającą dla badanych elementów powyżej 460 l/min,
- duże intensywności zraszania implikują szczególne wymagania co do rozmieszczania i doboru rodzaju instalacji tryskaczowej,
- na rozdział rozpraszanej wody poniżej, jak i powyżej deflektora wpływa współczynnik przelotowości K badanych tryskaczy,
- przy wzroście współczynnika K wzrasta rozdział wody, co powoduje zmianę w postaci wzrostu ilości wody poniżej deflektora dla badanego tryskacza wiszącego,
- przy wzroście współczynnika K w funkcji ciśnienia osiągane są większe zmiany wydajności wodnej tryskaczy poniżej, jak i powyżej deflektora.

5. Summary

ESFR sprinklers are linear elements displaying certain characteristics of water distribution. The sprinkler action is focused on the maximum use of water for extinguishing fire in the area below it, by employing high sprinkling intensity and a given stream power. Experimental results indicate that

- ESFR sprinklers spray the area with considerable pressure-dependent intensity, which for the elements tested is higher than 460 l/min,
- a high spraying intensity is likely to mean different requirements for the location and application of sprinkler systems,
- water distribution above and below the deflector is influenced by the K-factor of the tested sprinklers,
- increasing the K-factor intensifies the distribution of water, which in turn increases the amount of water below the deflector of the hanging sprinkler being tested,
- by increasing the K-factor as a function of pressure, greater changes are achieved in the water output of sprinklers, both above and below the deflector.

Literatura / Literature

[1] Domżał A., *Badanie rozdziału wody w funkcji natężenia przepływu przez elementy wylotowe wodnych urządzeń gaśniczych*, Praca badawcza własna BW/E-422/8/2005.

[2] Wnęk W., Kubica P., Basiak M., *Standardy projektowania urządzeń tryskaczowych – porównanie głównych parametrów*, BiTP Vol. 27 Issue 3, 2012, pp. 83-97.

[3] VdS CEA 4001:2014 Richtlinien für Sprinkleranlagen. Planung und Einbau.

[4] NFPA 13 Installation of Sprinkler Systems, Edition 2016.

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania:
Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" – typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

* * *

mł. bryg mgr inż. Agata Domżał – pracownik Szkoły Głównej Służby Pożarniczej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Obecnie na stanowisku wykładowcy w Zakładzie Technicznych Systemów Zabezpieczeń.
Agata Domżał, M.Sc. Eng.– staff member of the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service; currently a lecturer at the Institute of Technical Security Systems.

st. bryg. dr inż. Waldemar Wnęk – absolwent Politechniki Warszawskiej i Szkoły Głównej Służby Pożarniczej Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Obecnie na stanowisku Kierownika Katedry Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń.
Waldemar Wnęk, Ph.D. – a Graduate from the Warsaw University of Technology, and from the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service; currently Head of the Building Safety and Threat Identification Department.

mgr inż. Mateusz Prokop – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego.
Mateusz Prokop, M.Sc. Eng. – a Graduate from the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service.

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.7

mgr inż. **Tomasz Gruszecki**[1]
mł. bryg. mgr inż. **Artur Litwin**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 18.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 16.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Zagrożenie pożarowe konstrukcji obiektów mostowych w świetle obowiązujących przepisów[3]

Fire Hazard of Bridge Structures in Light of Current Regulations

Пожарная опасность мостовых объектов согласно действующему законодательству

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest omówienie aktualnie obowiązujących przepisów przeciwpożarowych dotyczących obiektów mostowych w Polsce. Informacje zawarte w pracy kierowane są do szerokiego grona odbiorców związanych z zagadnieniami ochrony przeciwpożarowej.
Wprowadzenie: Mosty od tysiącleci stanowią bardzo ważne ogniwo w łańcuchu komunikacyjnym ludności. Mosty, zarówno te będące prymitywnymi i prowizorycznymi przeprawami, jak i skomplikowanymi przykładami zastosowania mechaniki budowli od zawsze symbolizowały jednoczenie i rozwój. W sieci dróg publicznych w Polsce znajduje się aktualnie ponad 35 tysięcy obiektów mostowych i tuneli o łącznej długości ponad 1050 kilometrów. Uszkodzenia, czasowe wyłączenia czy całkowite zniszczenie obiektu mostowego odbija się mocno na regionie i trasie komunikacyjnej, na której się on znajduje. W artykule omówiono aktualnie obowiązujące przepisy dotyczące bezpieczeństwa pożarowego obiektów mostowych (drogowych i kolejowych). W drugiej części zawarto krótkie podsumowanie rozwoju tych przepisów na przestrzeni ostatniego stulecia. Opisano podstawy, na jakich oparto dzisiejsze przepisy bezpieczeństwa pożarowego obiektów mostowych. Ostatnia część artykułu zawiera zwarty opis wpływu pożaru na konstrukcję ustroju nośnego obiektu mostowego, który może być różny w zależności od materiału, z jakiego wykonano dany obiekt. W wyniku pożaru pogorszeniu może ulec trwałość materiału i jego zdolność do przenoszenia obciążeń.
Metodologia: W artykule autorzy dokonali przeglądu obowiązujących w Polsce przepisów przeciwpożarowych. Obecny stan prawny w tej dziedzinie obejmuje kilkanaście rozporządzeń odpowiednich ministrów oraz kilka instrukcji publikowanych przez spółki państwowe zajmujące się branżą mostową, ratyfikowane oficjalnie przez ministerstwo. Przytoczono fragmenty przepisów, które zdaniem autorów należałoby doprecyzować lub zaktualizować. Przedstawiono możliwy wpływ intensywnego pożaru na konstrukcję mostową w zależności od tego, jaki jest jej główny materiał konstrukcyjny.
Wnioski: Stan przepisów dotyczących bezpieczeństwa pożarowego obiektów mostowych w Polsce autorzy uznają za zadowalający. Istnieje jednak szereg potencjalnych usprawnień istniejących zapisów prawnych, które mogłyby pozytywnie wpłynąć na bezpieczeństwo pożarowe mostów w Polsce.

Słowa kluczowe: mosty, bezpieczeństwo pożarowe, zagrożenia pożarowe, beton, stal, pożar
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: The main purpose of this article is to provide a discourse about current regulations dealing with fire safety of bridges in Poland and share the outcome with a wider group of specialists, who are involved with fire safety issues.
Introduction: For tho**u**sands of years bridges have played a particularly important part in people's communications network. From primitive and makeshift crossings to complicated applications of structural mechanics, bridges have always been a symbol of unity and development. The Polish public road network currently contains over thirty five thousand bridge structures and tunnels with a cumulative distance of over one thousand and fifty kilometres. Damage, temporary closure or total destruction of a bridge can have a significantly negative impact on the region and part of the affected communications network. The article examines current regulations dealing with the fire safety of bridges, for road and rail networks . The second part of the paper contains a brief summary of regulatory developments in the last hundred years and provides an insight for the basis of present day regulations. The last part of the article contains a concise description of the impact that a fire can have on the superstructure of a bridge. Depending on materials used in the construction, a fire can impact on the bridge or its components, in different ways, and result in a severe reduction of its lifespan and designed load bearing ability.

[1] Politechnika Poznańska / Poznan University of Technology; tegruszecki@gmail.com;
[2] Komenda Miejska PSP Koszalin / District Headquarters of the State Fire Service in Koszalin, Poland;
[3] Procentowy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / Percentage contribuiton: T. Gruszecki – 80%; A. Litwin – 20%;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.7

Methodology: The authors performed a review of current Polish regulations and publications dealing with fire safety. The current legal position is summarized by a range of ministerial directives and several instructions, ratified by ministers and published by state companies involved with the bridge industry. The authors identified a number of issues contained in regulations, which in their view should be clarified or updated. Additionally, the second part of the article provides a description of consequences impacting on the bridge superstructure, which, depending on the material used in construction, can result from an intensive fire.
Conclusion: Generally, **t**he authors consider current regulations concerning bridge fire safety as appropriate. However, a number of proposed improvements would positively enhance the fire safety of bridges in Poland.

Keywords: bridges, fire safety, fire hazards, concrete, steel, fire
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель данной статьи – обсудить действующие в Польше правила пожарной безопасности мостов. Информация, содержащаяся в работе, предназначена для широкого круга читателей, связанных с проблемами пожарной охраны.
Введение: На протяжении тысячелетий мосты являлись очень важным звеном в транспортной цепочке населения. Все мосты, как те представляющие собой примитивные и кустарные переправы, так и сложные решения строительной механики, всегда символизировали объединение и развитие. Среди дорог общего пользования в Польше в настоящее время находится более 35000 мостов и тоннелей общей протяженностью более 1050 км. Повреждения, временный перерыв в эксплуатации или полное разрушение конструкции моста сильно отражается на регионе и на маршруте, на котором такой мост расположен. В статье рассматриваются действующие правила пожарной безопасности мостов (автомобильных и железнодорожных). Во втором разделе приводится краткое описание развития этих положений на протяжении последнего столетия. В нем описаны основы действующих правил пожарной безопасности мостов. Последняя часть статьи содержит краткое описание воздействия пожара на несущую конструкцию моста. Огонь может иметь совершенно различное влияние на дальнейшее функционирование структуры моста в зависимости от материала, из которого он был построен. Пожар может снизить его прочность и способность выдерживать нагрузки.
Методология: Авторы сделали обзор действующих в Польше правил пожарной безопасности. В настоящее время правовая ситуация в этой области включает в себя несколько распоряжений соответствующих министров и несколько руководств, изданных государственными компаниями, участвующими в мостовой промышленности, официально ратифицированных Министерством. Были указаны некоторые правила, которые по мнению авторов, следует уточнить или обновить. Вторая часть исследования представляет описание результатов интенсивного пожара конструкции моста в зависимости от того, что является его основным строительным материалом.
Выводы: Авторы считают, что настоящее законодательство относительно пожарной безопасности мостовых конструкций в Польше находится на удовлетворительном уровне. Тем не менее, существует целый ряд потенциальных усовершенствований существующих правовых положений, которые положительно повлияли бы на пожарную безопасность мостов в Польше.

Ключевые слова: мосты, пожарная безопасность, пожарные угрозы, бетон, сталь, пожар
Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty mostowe [1], przez obiekt mostowy rozumie się budowlę przeznaczoną do przeprowadzenia drogi, samodzielnego ciągu pieszego lub pieszo-rowerowego, szlaku wędrówek zwierząt dziko żyjących lub innego rodzaju komunikacji gospodarczej nad przeszkodą terenową, a w szczególności: most, wiadukt, estakadę, kładkę.

Mosty od tysiącleci stanowią bardzo ważne ogniwo w łańcuchu komunikacyjnym ludności. Od prymitywnych i prowizorycznych przepraw po skomplikowane zastosowania mechaniki budowli zawsze symbolizowały pokonywanie przeszkód i rozwój. W sieci dróg publicznych w Polsce znajduje się aktualnie ponad 35 tysięcy obiektów mostowych i tuneli o łącznej długości ponad 1050 kilometrów [2]. Uszkodzenia, czasowe wyłączenia czy całkowite zniszczenie obiektu mostowego odbija się mocno na regionie i trasie komunikacyjnej, w ciągu której się on znajduje. Poza naturalnym starzeniem się konstrukcji obiektom mostowym zagraża też szereg czynników zewnętrznych, takich jak uderzenia pojazdów, przekroczenia dopuszczalnych obciążeń czy pożary.

W ostatnim czasie temat bezpieczeństwa pożarowego mostów nieco odżył. Głównie ze względu na niedawny pożar mostu Łazienkowskiego w Warszawie. Jest to drugi pożar, po pożarze budki służącej jako skład, w latach siedemdziesiątych, tego samego obiektu z podobnych powodów.

Zagrożenie ogniowe w przypadku mostów jest o tyle istotne, że nie stosuje się w nich warstw izolujących działanie temperatury pożarowej na konstrukcję. Zgodnie z przepisami wymagane jest stosowanie materiałów niepalnych (poza kilkoma wyjątkami). Wpływ odpowiednio wysokiej temperatury na beton zbrojony czy stal konstrukcyjną może być bardzo negatywny. Po pożarze obiekty o konstrukcji betonowej i stalowej wymagają wymiany całych przęseł lub ich fragmentów, a obiekty drewniane najczęściej ulegają całkowitemu lub większościowemu zniszczeniu.

W dalszej części artykułu autorzy przeprowadzili przegląd aktualnie obowiązujących przepisów dotyczących bezpieczeństwa pożarowego obiektów inżynierskich w ciągu dróg publicznych i linii kolejowych. Omówiono także w podstawowym ujęciu wpływ pożaru na konstrukcję.

2. Wymagania przeciwpożarowe dla mostów w przeszłości

Od końca XIX wieku do lat trzydziestych XX wieku na terenie Polski obowiązywały przepisy pochodzące z państw zaborczych. Dopiero w latach trzydziestych powstały pierwsze przepisy dotyczące bezpieczeństwa pożarowego obiektów mostowych stworzone przez PKP i zatwierdzone przez Ministerstwo Komunikacji. Kolejne dekady wraz ze zmianami w strukturze transportu publicznego przynosiły zmiany w przepisach przeciwpożarowych dotyczących obiektów inżynierskich i ich otoczenia.

Wspomniane instrukcje wydane nakładem Polskich Kolei Państwowych zostały ratyfikowane przez Ministerstwo Komunikacji w 1931 roku [3]. Wprowadzały m.in. zakaz palenia na drewnianych mostach, ustawianie przed obiektami znaków nakazujących zredukowanie iskrzenia w parowozie czy konieczność sprawdzania obecności iskier i płomieni na pomoście po przejeździe pociągu.

Rozporządzenia z roku 1934 [4-5] zdefiniowały, jakie konstrukcje wolno było wznosić w sąsiedztwie linii kolejowej oraz narzuciły obowiązek tworzenia pasów przeciwpożarowych. Te wydzielone wzdłuż trasy ścieżki (dróżki) pełniły funkcję bufora pomiędzy roślinnością lub budynkami a linią kolejową. Idea pasów przeciwpożarowych wynika z niebezpieczeństwa, jakie niosły za sobą ulatujące z przejeżdżających parowozów iskry. Zjawisko iskrzenia może towarzyszyć także gwałtownemu hamowaniu.

W 1961 roku wprowadzono przepisy o utrzymaniu mostów, wiaduktów i tuneli drogowych, które podtrzymywały zakaz używania otwartego ognia oraz wprowadzały konieczność wyposażenia obiektu mostowego w osprzęt ułatwiający doraźną walkę z ewentualnym pożarem. Dopiero w latach siedemdziesiątych pojawiła się instrukcja będąca załącznikiem do rozporządzenia [6], która po raz pierwszy narzuciła wymogi m.in. co do niepalności materiałów konstrukcyjnych zarówno samego obiektu, jak i prowadzonych na nim rurociągów czy kabli. Wprowadziła też wiele do dziś obowiązujących wymogów, co czyni ją bardzo ważnym krokiem w rozwoju przepisów bezpieczeństwa pożarowego mostów w Polsce.

XX wiek przyniósł duże postępy w dziedzinie bezpieczeństwa pożarowego. Poprzez zastosowanie pasów przeciwpożarowych wprowadzono filozofię ochrony terenu i budynków przylegających do linii kolejowych i dróg publicznych. Nawet po zaniechaniu korzystania z parowozów i w dobie pociągów spalinowych i elektrycznych pasy przeciwpożarowe okazują się być potrzebnym elementem infrastruktury. Wprowadzono także wymagania dotyczące materiałów i parametrów konstrukcji, które obowiązują również w dzisiejszych przepisach.

3. Wymagania przeciwpożarowe w świetle aktualnych przepisów

Aktualnie obowiązuje szereg przepisów właściwych dla konstrukcji mostowych poruszających kwestię bezpieczeństwa pożarowego. Regulacje te można podzielić na te opisujące wymagania wobec mostów kolejowych, mostów drogowych oraz budowli w ujęciu ogólnym.

Wspólnym mianownikiem w tym zakresie są wymogi dotyczące pasów przeciwpożarowych wzdłuż tras kolejowych i dróg publicznych, w tym wzdłuż obiektów mostowych.

3.1. Mosty drogowe i kładki dla pieszych

Najważniejszym dokumentem wprost odnoszącym się do drogowych obiektów inżynierskich jest rozporządzenie w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie [1].

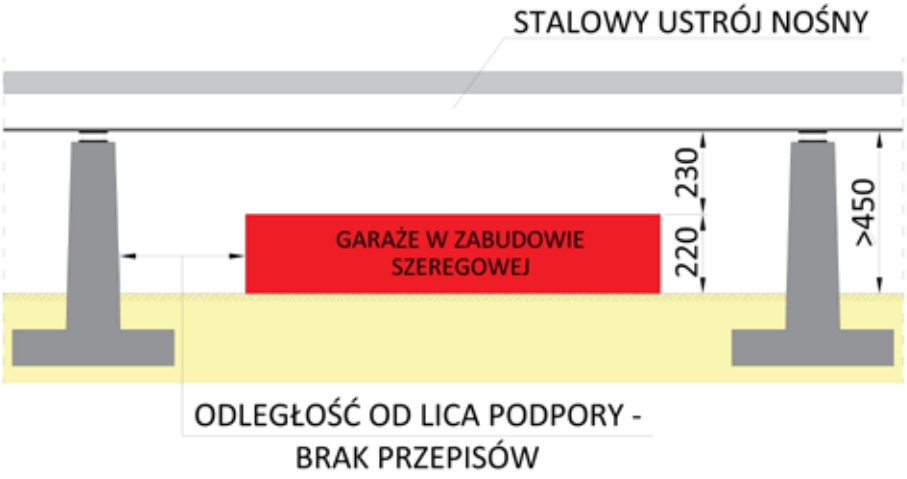
Podstawowym wymogiem stawianym drogowym konstrukcjom mostowym jest ich wykonanie z całkowicie niepalnych materiałów. Dotyczy to zarówno samej konstrukcji, jak i urządzeń umożliwiających dostęp do elementów mostu i urządzeń przeprowadzanych przez obiekt. Z wymogu całkowitej niepalności materiałów wyłączone są kładki, które można projektować z użyciem materiałów trudno zapalnych.

Pod obiektami inżynierskimi oraz w ich konstrukcji zabrania się umieszczania rozdzielni, stacji energetycznych, transformatorów oraz pompowni cieczy i gazów palnych. Ponadto zabrania się sytuowania obiektów zagrożonych wybuchem i obiektów, w których znajdują się materiały palne o obciążeniu ogniowym przewyższającym 500 MJ/m^2 bezpośrednio pod konstrukcją mostu. Wymienione obiekty powinny być wykonane z materiałów niepalnych i znajdować się w odległości minimum 6 metrów od rzutu poziomego obiektu.

W kwestii zagospodarowania przestrzeni pod obiektami drogowymi, rozporządzenie [1] zezwala na garażowanie w tym miejscu samochodów osobowych. Warunkiem koniecznym jest jednak spełnienie wymogów co do odległości spodu konstrukcji od terenu, na którym ma być prowadzone garażowanie. Wymagana minimalna odległość pomiędzy terenem a spodem ustroju zależy od materiału, z którego wykonany jest obiekt:

- dla obiektów stalowych – nie mniej niż 4,5 m,
- dla obiektów betonowych – nie mniej niż 3 m.

Powyższe przypadki zostały zobrazowane odpowiednio na rycinach 1 i 2. Zgodnie z rozporządzeniem w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [7], wysokość garażu w świetle konstrukcji powinna wynosić co najmniej 2,2 m. Pozostawia to w skrajnym przypadku tylko 0,8 i 2,3 m odpowiednio od spodu obiektu betonowego i stalowego włącznie z wysokością elementów konstrukcyjnych garażu. Do wymagań dla garaży zawartych w rozporządzeniu [7] zaliczają się m.in. obowiązek wykonania garażu z elementów nierozprzestrzeniających ognia, niekapiących i nieodpadających pod wpływem ognia.



Ryc. 1. Minimalne odległości od konstrukcji w przypadku ustroju stalowego
Źródło: Opracowanie własne.

BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 73–80
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.7

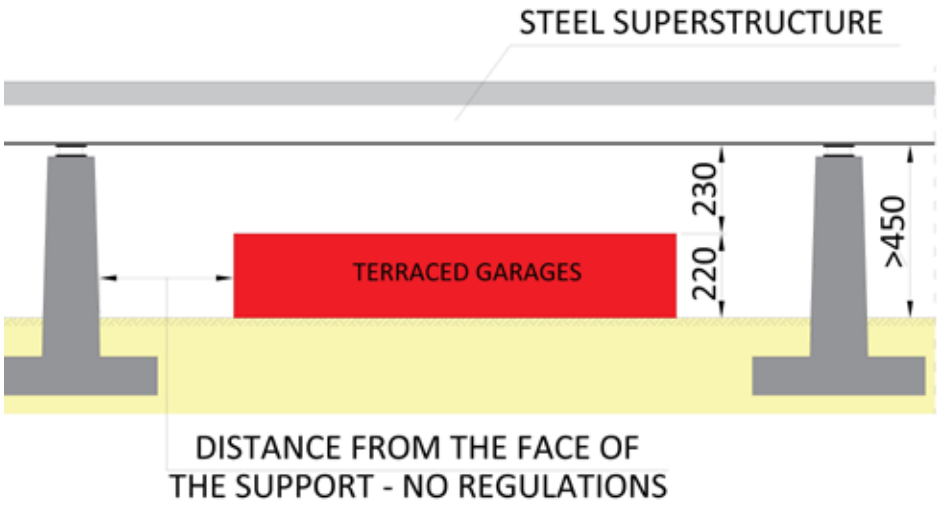


Fig. 1. Minimal distances from the construction for a steel superstructure
Source: Own elaboration.

Ryc. 2. Minimalne odległości od konstrukcji w przypadku ustroju betonowego
Źródło: Opracowanie własne.

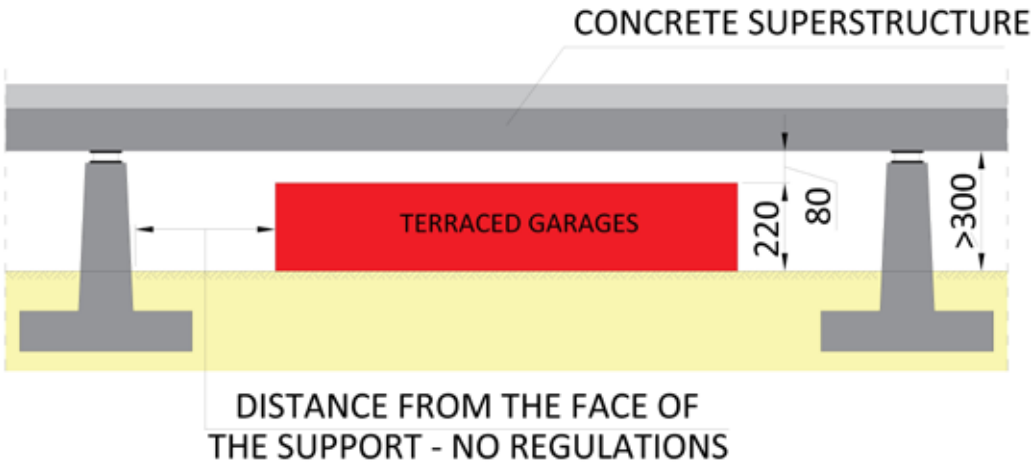


Fig. 2. Minimal distances from the construction for a concrete superstructure
Source: Own elaboration.

Nietrudno jednak wyobrazić sobie sytuację zagrożenia trwałości i nośności obiektu mostowego w wyniku pożaru garażu znajdującego się w tak niewielkiej odległości jego ustroju nośnego.

Warto także zauważyć, że przepisy nie regulują minimalnej odległości garażu od podpory obiektu. Ze względu na charakter rozprzestrzeniania się ognia bliskość garażu nie przekłada się bezpośrednio na zagrożenie podpór masywnych – betonowych lub kamiennych. W przypadku podpór stalowych istnieje ryzyko odkształcenia i uszkodzenia podpory, zwłaszcza w bliskim sąsiedztwie ognia i przy sprzyjającym wietrze. Otwarty ogień w pobliżu łożysk i innych elementów wyposażenia obiektu w okolicy podpory może skutkować poważnymi konsekwencjami.

Brakuje także regulacji w sprawie składowisk pod istniejącymi obiektami. W niedawnym pożarze mostu Łazienkowskiego w Warszawie doszło do uszkodzenia części ustroju nośnego w okolicach podpory pośredniej w wyniku zapalenia się pod nim składowiska desek. Rozporządzenie [1] podaje takie regulacje wprost jedynie dla obiektów tymczasowych.

Rozporządzenie dopuszcza, poza garażowaniem, inne wykorzystanie przestrzeni pod obiektem jedynie za zgodą Państwowej Straży Pożarnej i przy zapewnieniu dróg ewakuacji i dojazdu.

Dodatkowo w odległości mniejszej niż 30 m od skraju toru kolejowego lub drogi publicznej, z wyjątkiem drogi o nawierzchni nieutwardzonej, pozostawianie w szczególności gałęzi, chrustu, nieokrzesanych ściętych drzew i odpadów poeksploatacyjnych jest zabronione [8].

Potrzebne są dodatkowe regulacje w sprawie roślinności znajdującej się pod mostami drogowymi i kładkami i w ich najbliższym sąsiedztwie. W przypadku dużego zagrożenia pożarowego na terenie leśnym (np. suszy) roślinność w najbliższym otoczeniu mostu w przypadku pożaru spowoduje szybkie rozprzestrzenianie się ognia wokół obiektu.

Do innych wymagań stawianych obiektom drogowym należy nieumieszczanie przewodów elektrycznych i gazowych we wspólnych kanałach przy przeprowadzaniu przez most, sytuowanie zaworów odcinających niebezpieczne substancje minimum 25 metrów poza obiektem, zapewnienie swobodnego dostępu do kanałów i włazów inspekcyjnych na moście i w jego obrębie. Ponadto przewody i kable umieszczane na moście powinny spełniać warunek nierozprzestrzeniania ognia.

Odrębnym wymaganiom powinny odpowiadać obiekty tymczasowe, stosowane na przykład w przypadku przebudowy czy remontu istniejącego mostu. Zgodnie z rozporządzeniem obiekty tymczasowe przewidziane na okres dłuższy niż 3 lata powinny być wykonane z materiałów co najmniej trudno zapalnych. Obiekty tymczasowe przewidziane na okres mniejszy niż 3 lata i wykonane w całości lub częściowo z materiałów palnych (np. drewniane) powinny być wyposażone w skrzynie z suchym piaskiem oraz odpowiednie beczki z wodą, w zależności od całkowitej długości obiektu. Pod obiektami tymczasowymi zabrania się także sytuowania zabudowań i składowisk.

W ostatnim czasie powstała propozycja nowelizacji ustawy [1], która zamiast określenia „materiały niepalne" wprowadza zgodne z aktualnymi normami klasy reakcji na ogień i odporności ogniowej – co najmniej klasę reakcji na ogień A2, d0.

3.2. Mosty kolejowe

Rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać kolejowe obiekty inżynierskie [9], nie odnosi się w żaden sposób do kwestii bezpieczeństwa pożarowego tych budowli.

Warunki techniczne dla kolejowych obiektów inżynieryjnych, a więc instrukcja Id-2 [10] uchwalona przez zarząd PKP jest dodatkowym dokumentem, rozszerzającym wymagania stawiane kolejowym obiektom inżynierskim. Ze względu na zabezpieczenia pożarowe instrukcja ta wymaga przede wszystkim wykonania z materiałów niepalnych wypełnień jezdni między szynami tocznymi lub odbojnicowymi, urządzeń obcych, pomostów służących do wykonywania robót utrzymaniowych oraz konstrukcji służących do przeprowadzania urządzeń obcych. Podobnie jak w przypadku mostów drogowych, zabrania się instalowania pod przęsłami rozdzielni i stacji energetycznych, transformatorów oraz pompowni cieczy i gazów. Ponadto stawiane są im wymagania dotyczące dostępności, rozmieszczenia i oznakowania włazów do kanałów instalacyjnych.

Przed stałymi obiektami inżynieryjnymi o długości większej od 10 m z torem na mostownicach oraz przed wszystkimi obiektami tymczasowymi w odległości 200 m muszą być ustawiane wskaźniki W12 informujące o konieczności zakropienia i zamknięcia popielnika przed wjazdem na most.

Poza wspomnianymi zakazami umieszczania m.in. transformatorów, instrukcja nie odnosi się do zagospodarowania terenu pod obiektami w podobny sposób, jak rozporządzenie dotyczące mostów drogowych.

W przypadku mostów i wiaduktów kolejowych dodatkowym aspektem bezpieczeństwa pożarowego są pasy przeciwpożarowe sytuowane wzdłuż linii torów kolejowych na terenach zalesionych, umiejscawiane zgodnie z rozporządzeniem [11] dotyczącym m.in. odległości i warunków sytuowania drzew i krzewów oraz pasów przeciwpożarowych w sąsiedztwie linii kolejowej. Przy linii, na której prowadzony jest ruch kolejowy, pasy przeciwpożarowe powinny być urządzane i utrzymywane jako jedna równoległa do linii kolejowej bruzda o szerokości co najmniej 4 m, usytuowana w odległości od 2 m do 5 m od dolnej krawędzi nasypu lub górnej krawędzi przekopu linii kolejowej. Bruzda ta powinna być oczyszczona z wszelkiej roślinności do warstwy mineralnej, a na gruntach torfiastych – posypana warstwą piasku o grubości od 0,01 m do 0,02 m. Bruzdę może stanowić inna powierzchnia pozbawiona materiałów palnych.

Ponadto podobnie jak dla obiektów drogowych, zastosowanie ma zasada oczyszczenia sąsiedztwa linii kolejowej w odległości 30 m z gałęzi, chrustu, nieokrzesanych ściętych drzew i odpadów poeksploatacyjnych.

4. Wpływ pożaru na obiekt mostowy

Oddziaływanie termiczne jest bardzo niebezpieczne dla wszystkich rodzajów konstrukcji. W przypadku mostów najczęściej spotykanymi materiałami używanymi do wykonania ustroju nośnego jest stal (konstrukcyjna lub zbrojeniowa) oraz beton, w różnych konfiguracjach.

Obiekty mostowe są zagrożone pożarami w stopniu znacznie mniejszym niż budynki, obiekty użyteczności publicznej czy budynki hal produkcyjnych. Uszkodzenie, zmniejszenie trwałości czy ograniczenie zdolności przenoszenia obciążeń obiektu inżynierskiego w ciągu ruchliwej drogi krajowej czy magistrali kolejowej niesie za sobą ogromne konsekwencje finansowe, społeczne, a nawet gospodarcze w zakresie regionalnym. Ze względu na ich znaczenie strategiczne, mostom należy stawiać szczególnie wysokie wymogi w kwestii bezpieczeństwa pożarowego.

Oczywiście pożar w obrębie mostu czy wiaduktu może mieć zupełnie różne konsekwencje w zależności od miejsca jego wystąpienia, zakresu i czasu trwania. Najniebezpieczniejsze dla mostów są pożary pojawiające się pod ustrojem nośnym i w jego wnętrzu, które bezpośrednio mogą przełożyć się na jego nośność. W wyniku konwekcji i radiacji ciepło

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.7

przekazywane jest do głównych elementów nośnych, co przy wysokich zakresach temperatur ma ogromny wpływ na dalszą pracę całego układu i trwałość konstrukcji.

Dużym zagrożeniem są czynniki zewnętrzne – wypadki komunikacyjne z rozległymi pożarami, kanały i kable znajdujące się w obrębie obiektu, sąsiedztwo budynków z materiałów łatwopalnych, składów i parkingów, zgromadzone w pobliżu mostu śmieci oraz roślinność porastająca przestrzeń pod mostem. Bardzo często czynniki generujące zagrożenie pożarowe znajdują się w otoczeniu obiektu wbrew obowiązującym przepisom. Częściowo wynika to oczywiście z wciąż aktualizowanych regulacji, częściowo z zaniedbań i lekceważenia. Do pożarów najczęściej dochodzi na mostach tymczasowych (ze względu na stosowane elementy drewniane), podczas budowy nowych obiektów oraz przebudowy, rozbiórki lub remontu istniejących (łatwopalne elementy wyposażenia budowy, składowiska materiałów w pobliżu konstrukcji, spawanie, cięcie elementów).

O odporności ogniowej obiektu mostowego decyduje przede wszystkim materiał konstrukcyjny, a także w pewnym stopniu nawierzchnia i wyposażenie.

Autorzy artykułu opisali właściwości stali i betonu jako najbardziej rozpowszechnionych obecnie materiałów konstrukcyjnych w budownictwie mostowym. Tematyka zagrożeń pożarowych i wpływu temperatury na konstrukcję jest bardzo szeroka i nie sposób podsumować jej jednym artykułem. Warto jednak pamiętać o obiektach w całości lub częściowo drewnianych, dla których pożar oznacza najczęściej całkowite zniszczenie.

Właściwości materiałów stosowanych na konstrukcje są zawarte w przepisach Eurokodów 1993-1-2 (dla stali) [13], 1992-1-2 (dla betonu i żelbetu) [15], 1994-1-2 (dla zespolonych stalowo-betonowych) [16]. Podano w nich również zasady analizy konstrukcji w warunkach pożaru.

Obiekty o ustroju nośnym stalowym

Właściwości stali węglowych, wykorzystywanych najczęściej jako konstrukcyjne, ulegają obniżeniu w temperaturach powyżej 400°C [13]. Do tej wartości efektywna granica plastyczności materiału nie ulega zmianie, o ponad 50% zmniejsza się jednak wartość granicy proporcjonalności, wyznaczającej zakres sprężystej pracy materiału. Dodatkowo w temperaturze 400°C moduł sprężystości stali spada o około 30%. Oznacza to, że już w takiej temperaturze sposób pracy konstrukcji może zmienić się diametralnie, zwłaszcza w obiektach o dużych i dynamicznych obciążeniach, jakimi są mosty. Przy takim i dalszym wzroście temperatury zmianie ulec może mechanizm zniszczenia konstrukcji, np. w wyniku zwichrzenia belki (ogólna utrata stateczności) lub wybrzuszenia środnika (miejscowa utrata stateczności), zanim dojdzie do powstania przegubu plastycznego [12].

Jak już wspomniano, możliwe efekty dużego przyrostu temperatury ustroju nośnego to m.in. niebezpieczne odkształcenia i nadmierne ugięcia, lokalne deformacje przekrojów i globalne odkształcenia elementów nośnych, degradacja materiału i trwały spadek własności mechanicznych. Aktualnym przykładem tej klasy uszkodzeń może być pożar mostu Łazienkowskiego w Warszawie, podczas którego po zaprószeniu ognia w składowanych przy podporze deskach, doszło do uszkodzenia pomostu stalowego i w konsekwencji wiązało się z koniecznością jego częściowej wymiany.

Obiekty o ustroju nośnym betonowym

Decydującą rolę w analizie termicznej elementów żelbetowych pełnią właściwości betonu [14]. Przewodność cieplna betonu może być przyjmowana zgodnie z normami europejskimi [15] jako zależna od temperatury elementu. Z zależności podanej w normie wynika, że im wyższa jest temperatura elementu betonowego, tym trudniej przyjmuje on ciepło. Wpływ na nagrzewanie betonu ma ilość zawartej w nim wody, jednak parametr ten ma znaczenie tylko do około 200°C. Do tej wartości większa ilość wody w betonie oznacza większe jego ciepło właściwe, a więc trudniejsze przyjmowanie ciepła. Właściwości stali w analizie termicznej mają znaczenie drugorzędne, a nawet pomijalne. Jej właściwości mechaniczne są jednak kluczowe w procesie analizy nośności przekroju i elementów. Jako bezpieczną górną granicę pracy stali zbrojeniowej przyjmuje się około 500°C, przy której to temperaturze odnotowuje się około 20-procentowy spadek wytrzymałości charakterystycznej na rozciąganie. W Eurokodzie [15] i [16] podano zalecane grubości otuliny zbrojenia w zależności od wymaganej odporności ogniowej oraz szereg innych zaleceń w tym zakresie.

Podstawowym zagrożeniem konstrukcji żelbetowych jest więc spadek zdolności stali zbrojeniowej do przenoszenia obciążeń. Dodatkowo możliwe jest tzw. odpryskiwanie betonu oraz jego odpadanie. Pierwsze zjawisko jest efektem bardzo szybkiego nagrzewania w wyniku oddziaływania bardzo intensywnego pożaru. Woda uwięziona w porach betonu pod wpływem temperatury zamienia się w parę wodną i pod dużym ciśnieniem próbuje znaleźć ujście z jego porowatej struktury. W rezultacie może dojść do rozsadzenia betonu i małych odprysków na jego powierzchni. Do zjawiska tego dochodzi jednak tylko w sytuacjach bardzo intensywnego nagrzewania, co w przypadku obiektów mostowych jest mało prawdopodobne. Drugim zjawiskiem jest odpadanie betonu, które może pojawiać się w późniejszej fazie oddziaływania pożaru. Dotyczy takich miejsc jak naroża słupów i belek oraz niewielkich, mocno nagrzanych fragmentów płaskich powierzchni betonowych. Polega ono na odpadaniu fragmentów betonu i odsłanianiu prętów zbrojeniowych. Efekt spowodowany jest zróżnicowaną odkształcalnością termiczną kolejnych warstw betonu i powstającymi tam siłami tnącymi [14].

5. Podsumowanie i wnioski

W artykule autorzy podjęli próbę przybliżenia czytelnikom kwestii bezpieczeństwa pożarowego obiektów mostowych. Tematyka ta jest poruszana nieczęsto, jednak powraca za każdym razem, kiedy zdarzy się przypadek podobny do pożaru mostu Łazienkowskiego w Warszawie.

Stan przepisów techniczno-budowlanych dotyczących mostów w polskim prawie w kontekście bezpieczeństwa pożarowego jest zdaniem autorów wystarczający. Wymaga jednak wprowadzenia istotnych zmian, które w oczywisty sposób pomogłyby ulepszyć zapisy w rozporządzeniach oraz częściowo je unowocześnić. Kwestię konieczności zmian i niedoskonałości w aktualnych przepisach podnoszą także autorzy publikacji [17] i [18], którzy wyrażają znacznie mniej optymistyczne podejście do aktualnego stanu przepisów.

W pierwszej kolejności należy zwrócić uwagę na kwestię zagospodarowania terenu pod garażowanie samochodów osobowych pod obiektami drogowymi. Potrzeba w tym miejscu doprecyzowania lub wyłączenia tej możliwości dla nowopowstających mostów. Drugą kwestią, na szczęście poruszoną w proponowanej nowelizacji rozporządzenia, jest kwestia materiałów użytych do budowy obiektów mostowych. Istnieje potrzeba wprowadzenia aktualnych określeń i oznaczeń obowiązujących w równoległych normach. Konieczne jest także przyjrzenie się kwestii roślinności na terenach zalesionych i dzikich, która porasta połacie pod mostami i stwarza dla ich struktury zagrożenie w przypadku pożaru. Pokrewnym zjawiskiem są składowiska w okolicach podpór i w bezpośrednim sąsiedztwie konstrukcji. Być może doprecyzowanie przepisów pozwoli uniknąć sytuacji zagrażających dalszemu użytkowaniu kilku obiektów.

Literatura

[1] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie (Dz. U. 2000 Nr 63, poz. 735).
[2] Podstawowe dane statystyczne o mostach w Polsce, http://www.gddkia.gov.pl/pl/a/6610/dane-statystyczne [dostęp: 25.04.2016].
[3] Rozporządzenie Ministra Komunikacji z 28 marca 1931 r. w sprawie przepisów o środkach przeciwpożarowych na mostach nr D-7 (Dz. Urz. M.K. Nr 9, poz. 88).
[4] Ustawa z dnia 13 marca 1934 r. o oddaleniu budowli, składów, zadrzewienia i robót ziemnych od linii kolejowych oraz o pasach ochronnych przeciwpożarowych i zasłonach śnieżnych. (Dz. U. 1934 Nr 28, poz. 220).
[5] Rozporządzenie Ministra Komunikacji z dnia 7 września 1934 r. wydane w porozumieniu z Ministrami: Spraw Wewnętrznych oraz Rolnictwa i Reform Rolnych o urządzaniu i utrzymywaniu pasów ochronnych przeciwpożarowych i zasłon odśnieżnych. (Dz. U. 1934 Nr 84, poz. 759).
[6] Zarządzenie Ministra Komunikacji z 5 stycznia 1976 r. w sprawie zabezpieczenia przeciwpożarowego obiektów mostowych (Dz. Urz. M. K. Nr 4 poz. 41).
[7] 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).
[8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów. (Dz.U. 2010 Nr 109, poz. 719).
[9] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 10 września 1998 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle kolejowe i ich usytuowanie (Dz.U. 1998 Nr 151, poz. 987).
[10] Warunki techniczne dla kolejowych obiektów inżynieryjnych Id-2 (D2), załącznik do zarządzenia nr 29/2005 Zarządu PKP Polskie Linie Kolejowe S.A. z dnia 05.10.2005 r.
[11] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 15 marca 2013 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań w zakresie odległości i warunków dopuszczających usytuowanie drzew i krzewów, elementów ochrony akustycznej i wykonywania robót ziemnych w sąsiedztwie linii kolejowej, a także sposobu urządzania i utrzymywania zasłon odśnieżnych oraz pasów przeciwpożarowych. (Dz. U. 2013, poz. 435).
[12] Turkowski P, Sulik P., *Projektowanie konstrukcji stalowych z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 3*, ITB, Warszawa 2015.
[13] PN-EN 1993-1-2:2007 Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych Część 1-2: Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
[14] Woźniak G., Turkowski P., *Projektowanie konstrukcji z betonu z uwagi na warunki pożarowe według Eurokodu 2*, ITB, Warszawa 2013.
[15] PN-EN 1992-1-2:2008/Ap1:2008, AC:2010 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne i reguły dla budynków. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
[16] PN-EN 1993-1-2:2008. Eurokod 4: Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-2: Reguły ogólne – projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
[17] Król P.A., Nowak A.S., *O problemach oceny bezpieczeństwa pożarowego mostów stalowych na podstawie postanowień europejskich przepisów techniczno-budowlanych i norm projektowania*, w: *Mosty – Tradycja i Nowoczesność*, A. Podhoreckie, A.S. Nowak, J. Sobczak-Piąstki (red.), Wydawnictwa Uczelniane Uniwersytetu Technologiczno-Przyrodniczego w Bydgoszczy, Bydgoszcz 2016.
[18] Król P. A., *Efektywność transportu i skuteczność działań ratowniczo-gaśniczych w kontekście bezpieczeństwa pożarowego liniowych obiektów drogowych*, „Logistyka" 2015, 4, 7747-7756.

* * *

mgr inż. Tomasz Gruszecki – studia magisterskie ukończył na macierzystej uczelni w 2014 roku i od tego czasu jest aktywny zawodowo w dziedzinie projektowania konstrukcji mostowych. Od roku doktorant na Politechnice Poznańskiej w Zakładzie Budowy Mostów. Główne pola zainteresowań to konstrukcje zespolone, technologie sprężania oraz modelowanie i analiza konstrukcji mostowych.

mł. bryg. mgr inż. Artur Litwin – pracownik sekcji ds. kontrolno-rozpoznawczych w Komendzie Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Koszalinie.

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.8

канд. техн. наук. **В.М. Баланюк / V.M. Balanyuk**, Ph.D.[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 21.07.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 14.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Повышение эффективности газового пожаротушения ударной волной

Increasing the Effectiveness of Fire Extinguishing using a Gas Method which Applies a Shock Wave

Zwiększenie skuteczności gaszenia pożarów metodą gazową z wykorzystaniem fali uderzeniowej

АННОТАЦИЯ

Цель: Определение параметров повышения огнетушащей эффективности CO_2 и N_2, а также мощности ударной волны при их совместном комбинированном действии на диффузионное пламя н-гептана C_7H_{16}. Определение особенностей тушения диффузионного пламени н-гептана в условиях специальной камеры, предложенной комбинированной системой.
Методы: Для определения возможности тушения диффузионного пламени н-гептана, комбинированным действием газов CO_2 или N_2 и ударной волны которая возникает при взрыве пиротехнического заряда, было оборудовано установку в виде камеры объемом 0,5 м^3, в которой размещен генератор ударных волн, а на расстоянии 1,75 м, от него – тигель с н-гептаном. Газ подавали через газовый счетчик. Измерение давления в фронте ударной волны осуществляли с помощью датчика давления и температуры BMP-180 для контроллеров Arduino, работа которого основана на пъезорезистивном принципе. Съемка процесса тушения комбинированным действием газов CO_2 и N_2 и ударной волной была проведена с помощью камеры Nikkon 1 j4 с возможностью получения кадров со скоростью 1200 кадров в секунду.
Результаты: В работе теоретически обосновано и экспериментально определено, что комбинированное воздействие на пламя н-гептана, ударной волны и газов CO_2 или N_2, в камере на расстоянии до 2-х метров приведет к его затуханию через отрыв и дальнейшую фрагментацию. При этом экспериментально определено, что огнетушащее действие ударной волны с давлением во фронте в 125 Па обеспечивает тушение CO_2 при 20,3% и N_2 при 30,2%. При увеличении мощности ударной волны до 180 Па происходит уменьшение огнетушащей концентрации CO_2 до 8,2%, а N_2 до 15,4%. Результаты розкадровки показали, что время тушения при этом уменьшается до 3 раз в сравнении с тушением самой ударной волной с давлением в фронте около 215 Па.
Выводы: В работе теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность значительного повышения огнетушащей эффективности газов CO_2 и N_2 ударной волной на примере тушения диффузионного пламени н-гептана в камере на расстоянии до 2-х метров. При этом экспериментально определено, что огнетушащая концентрация уменьшается в 2,5 раза для CO_2 и в 2 раза для N_2 при мощности ударной волны в 180 Па для диффузионного пламени н-гептана. Експериментально определено, что общим результатом действия ударной волны и огнетушащего газа будет значительное уменьшение времени тушения диффузионого пламени н-гептана, и в случае CO_2 уменшение составляет до 7 раз, а для N_2 – до 4,2 раз, при сравнении с временем тушения самой ударной волной, которое составляет около 350 миллисекунд. Экспериментально определены особенности тушения дифузионого пламени н-гептана в условиях специальной камеры, предложенной комбинированной огнетушащей системой, которые заключаются в том, что время начала фрагментации значительно уменьшается и пламя при этом фрагментируется меньше, что приводит к более быстрому тушению.

Ключевые слова: пожар, ударная волна, газовое пожаротушение, огнетушащая концентрация, диффузионное пламя
Вид статьи: оригинальная научная статья

ABSTRACT

Objective: Determine the parameter in order to increase the effectiveness of fire extinguishing of CO2 and N2, as well as the power of the shock wave when they are all applied to extinguish a diffusion flame of n-heptane C7N16. Determine the properties of the proposed combined method of extinguishing the diffusion flame of n-heptane in a special test chamber.
Methods: In order to determine the potential of the method of extinguishing the diffusion flame of n-heptane using, at the same time, CO2 and N2 and a shock wave, which occurs during the explosion of a pyrotechnic charge, a test station was prepared. It was a chamber of a volume of 0.5 m3 where a shock wave generator was located, and a crucible with n-heptane was placed at a distance of 1.75 m from it. Gas was delivered

[1] Львовский государственной университет безопасности жизнедеятельности / Lviv State University of Life Safety; bagr33@ukr.net;

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.8

through a gasometer. The pressure at the front of the shock wave was measured using a pressure sensor and a temperature BMP180 for Arduino controllers, where the work is based on the piezoresistive effect. Visualization of the process of using, at the same time, CO2 and N2 and a shock wave was performed using Nikkon 1 j4 camera with the ability to record images at the speed of 1200 frames per second.
Results: In this paper experimentally justified was the fact that combined action of a shock wave and CO2 or N2 on the n-heptane flame, in the chamber at a distance of 2 meters leads to its supression by bursting and defragmentation. Moreover it was experimentally proven that the extinguishing effect of the shock wave with the front pressure of 125 Pa ensures extinguishing with CO2 at a concentration level of 20.3% and N2 at 30.2%. Increasing the power of the shock wave up to 180 Pa allows to reduce the extinguishing concentration of CO2 to 8.2% and of N2 to 15.4%. Based in the analysis of a series of shots, it can be observed that the extinguishing time in comparison to extinguishing method using only a shock wave with the front pressure of approximately 215 Pa is three times shorter.
Conclusions: The possibility of a significant increase in the efficiency of extinguishing using CO2 and N2 gases and a shock wave based on the example of a test n-heptane fire in a chamber at a distance of 2 meters was justified and experimentally demonstrated in this paper. Moreover, it has been proven experimentally that during extinguishing a n-heptane diffusion flame using a shock wave of 180 Pa, the necessary concentration of CO2 is reduced by two and a half, and in case of N2 – two times. The experiment confirmed that as a result of simultaneous use of a shock wave and extinguishing gas extinguishing, the time to extinguish the n-heptane diffusion flame significantly shortened. In the case of the CO2 the time required to extinguish the flame is 7 times shorter and in case of N2 it is up to 4.2 times faster as compared to extinguishing the flame using only a shock wave, which takes 350 milliseconds. The features of the proposed combined method of extinguishing the diffusion flame in a special chamber were determined using an experimental method. This includes, in particular, the fact that the start time of defragmentation is greatly reduced and the flame becomes less fragmented. As a result, the extinguishing process takes less time.

Keywords: fire, shock wave, gas fire extinguishing, fire extinguishing concentration, diffusion flame
Type of article: original scientific article

ABSTRAKT

Cel: Określenie parametrów mających na celu zwiększenie skuteczności gaśniczej CO_2 i N_2 oraz mocy fali uderzeniowej przy ich jednoczesnym zastosowaniu do gaszenia płomienia dyfuzyjnego n-heptanu C_7H_{16}. Określenie właściwości zaproponowanego łączonego sposobu gaszenia płomienia dyfuzyjnego n-heptanu w warunkach specjalnej komory testowej.
Metody: Do określenia możliwości metody gaszenia płomienia dyfuzyjnego n-heptanu za pomocą jednoczesnego gazów CO_2 i N_2 i fali uderzeniowej, powstałej w wyniku wybuchu ładunku pirotechnicznego, przygotowane zostało stanowisko w postaci komory o objętości 0,5 m^3, w której umieszczony został generator fal, a w odległości 1,75 m tygiel z n-heptanem. Gaz dostarczany był przy użyciu gazometru. Ciśnienie na czole fali uderzeniowej mierzono za pomocą czujnika ciśnienia i temperatury BMP180 dla kontrolerów Arduino, którego praca jest oparta na działaniu piezorezystancyjnym. Wizualizację procesu jednoczesnego gaszenia gazami CO_2 i N_2 oraz falą uderzeniową przeprowadzono z wykorzystaniem kamery Nikon 1 j4 z możliwością zapisu zdjęć z prędkością 1200 kadrów na minutę.
Wyniki: W pracy uzasadniono i wykazano eksperymentalnie, że wspólne działanie na płomień n-heptanu fali uderzeniowej i gazów CO_2 i N_2, w komorze w odległości 2 metrów prowadzi do jego tłumienia poprzez rozerwanie i defragmentację. Eksperymentalnie udowodniono, że działanie gaśnicze fali uderzeniowej o ciśnieniu na czole w wysokości 125 Pa zapewnia gaszenie CO_2 w stężeniu 20,3% i N_2 przy stężeniu 30,2%. Zwiększenie mocy fali uderzeniowej do 180 Pa pozwala na zmniejszenie stężenia gaśniczego CO_2 do 8,2% i N_2 do 15,4%. Na podstawie analizy serii ujęć można zaobserwować, że czas gaszenia w porównaniu do gaszenia tylko falą uderzeniową o ciśnieniu (na czole) około 215 Pa jest trzykrotnie krótszy.
Wnioski: W pracy uzasadniono i dowiedziono eksperymentalnie możliwość znaczącego zwiększenia skuteczności gaśniczej gazów CO_2 i N_2 z wykorzystaniem fali uderzeniowej na przykładzie testowego pożaru n-heptanu w komorze w odległości do 2 metrów. Udowodniono eksperymentalnie, że podczas gaszenia płomienia dyfuzyjnego n-heptanu falą uderzeniową o mocy 180 Pa potrzebne stężenie $C0_2$ zmniejsza się dwuipółkrotnie, a N_2 dwukrotnie. Eksperyment potwierdził, że w rezultacie jednoczesnego zastosowania fali uderzeniowej i gazu gaśniczego znacznemu skróceniu ulega czas gaszenia płomienia dyfuzyjnego n-heptanu. W przypadku z CO_2 czas potrzebny do ugaszenia płomienia jest 7 razy krótszy, a N_2 do 4,2 razy krótszy w stosunku do gaszenia wyłącznie falą uderzeniową, które zajmuje 350 milisekund. Metodą eksperymentalną określono cechy zaproponowanej łączonej metody gaszenia płomienia dyfuzyjnego w warunkach specjalnej komory. Należy do nich m.in. fakt, że czas rozpoczęcia fragmentacji znacznie się skraca i płomień ulega mniejszej fragmentacji. Dzięki temu gaszenie trwa krócej.

Słowa kluczowe: pożar, fala uderzeniowa, gaszenie gazowe, stężenie gaśnicze, płomień dyfuzyjny
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Вступление

Известно [1], что ежегодно в атмосферу выбрасывается около 32 миллиардов тонн углекислого газа, который образуется в результате жизнедеятельности человека. Углекислый газ также используется в качестве огнетушащего агента в автоматических, автономных, системах пожаротушения, в ручных огнетушителях и в других огнетушащих устройствах. Вопрос замены или повышения эффективности газовых огнетушащих веществ с целью уменьшения их выбросов стал особенно актуальным в связи со значительным климатическим потеплением на планете и соответственно принятием ряда документов, а именно – Монреальского и Киотского протоколов [2-3], а также недавно принятого Парижского соглашения, подписаного 175 странами, по изменению климата и ограничению выбросов парниковых газов в перечень которых входят и газовые огнетушащие вещества, а именно CO_2 и хладоны. Поиск альтернативных огнетушащих веществ и экологически чистых способов тушения стал особенно актуальным за последнее время, когда резко начал меняться климат планеты. Исходя из этого, в этот промежуток, а особенно в последнее время увеличилось количество публикаций, в которых поднимаются вопросы замены парниковых агентов и разработки и применения экологически чистых огнетушащих веществ как для пожаротушения, так и для флегматизации горючих сред.

2. Анализ результатов последних исследований

Известно, что газовые огнетушащие вещества применяют в основном для прекращения пламенного горения объемным способом. По механизму тушения они делятся на инертные разбавители (диоксид углерода, азот, другие инертные газы и их смеси) и ингибиторы горения (галогенизированные углеводороды). Прекра-

щение горения инертными разбавителями достигается преимущественно в результате разбавления газовой среды и снижения в нем концентрации окислителя и горючего, а тушение ингибиторами горения – химическим механизмом, – связывание радикалов, при участии которых в пламени происходят цепные окислительно-восстановительные реакции, как правило, для тушения объемных пожаров, а именно на химических производствах, на кораблях, подводных лодках, на транспорте, в энергетической отрасли [4-5] и т.д. Тушение такого рода пожаров является сложным из-за наличия большого количества пожарной нагрузки в различных агрегатных состояниях, труднодоступных мест, в виде пустот, перегородок, трубопроводных и электрических сетей, участков под электрическим напряжением, и т.д. В таких условиях пожар может быстро распространяться без каких-либо ограничений, а его тушение будет затруднено из-за сложности подачи в такие места средств пожаротушения. На сегодня одним из наиболее эффективных путей тушения пожаров и предотвращения взрывов на таких объектах остается использование газовых огнетушащих веществ. Газовые средства тушения имеют определенные преимущества перед другими средствами объемного тушения, а именно - большую чистоту тушения, способность поддерживать флегматизирующую концентрацию в течение длительного времени, удобство подачи в защищенный объем, а также возможность длительного хранения на объекте в составе системы автоматического пожаротушения. Но несмотря на ряд преимуществ, при использовании огнетушащих газов могут возникнуть ситуации, при которых они не обеспечивают необходимой эффективности тушения из-за возможной разгерметизации в результате взрыва, непопадания газа в защищаемый объём, необеспечения достижения указанной огнетушащей концентрации и т.п.

Известно, что огнетушащая концентрация составляет около 22% для CO_2 и 33% - для N_2 при тушении н-гептана [5,6]. Для обеспечения создания огнетушащей концентрации этих газов нужно достаточно большое количество резервуаров и трубопроводов для их хранения. Соответственно это приводит к значительному удорожанию самой установки и ее монтажа, и как правило требует отдельных помещений, и значительных дополнительных затрат [7]. При этом тушение и флегматизация обеспечивается только за счет заполнения объема и теплоотвода тепла из пламени газами-флегматизаторами и при более низких концентрациях тушение невозможно. Учитывая указанное, для повышения огнетушащей эффективности углекислого газа и азота исследователи предлагают различные способы, но в основном они заключаются в смешивании газа с другими газами, хладонами или дисперсными огнетушащими веществами [8-9]. При этом огнетушащая концентрация исходного газа уменьшается, но общий объем газовой смеси остается почти таким же, или уменьшается незначительно, что не обеспечивает поддержания достаточной концентрации O_2.

Таким образом, исключая смешивание газовых огнетушащих веществ с другими компонентами, одним из способов повышения эффективности газового объемного тушения диффузионного горения остается физическое воздействие на пламя в газовой огнетушащей среде, которая будет дополнять огнетушащее действие ударной волны. Для того чтобы потушить горение небольшого пламени достаточно его задуть. Соответственно динамического воздействия на пламя можно достичь звуковым воздействием на газ, или действием ударной волны, которая будет проходить через газовую среду в которой находится пламя. Анализ литературных источников показал, что ударные и звуковые волны давно используются в пожаротушении. Так в работах [10-12] был установлен эффект тушения звуковой волной, а в работе [10] указано, что технология тушения пламени акустической волной может стать элементом поддержания пожарной безопасности пожароопасных объектов. Но в сравнении со звуковой волной гораздо большую мощность и скорость распространения, имеет ударная волна (УВ). Ударная волна может распространяться в газовой среде как скачок уплотнения различной толщины [13]. УВ давно используется с целью пожаротушения. Так в работе [14] показаны способы и условия применения ударных волн, а также устройство для тушения низовых лесных пожаров. Автор [15] указывает, что при соответствующих условиях прохождение УВ через пламя в среде огнетушащего аэрозоля может привести к его отрыву и затуханию. Изучением действия ударных волн при тушении лесных пожаров занимались авторы работ [16-21]. Общим результатом этих работ является то, что воздействие на пламя мощной УВ с позиции тушения является эффективным и может привести к полному затуханию пламени при условии концентрации энергии УВ в указанном секторе и ее достаточной мощности. Сейчас научные исследования по изучению тушения пламени УВ ведутся в основном в направлении тушения лесных и степных пожаров [22-25]. Что касается локального действия УВ на пламя, то задувание, сбивание пламени является эффективным и простым способом борьбы с огнем. Это особенно актуально, для тушения газонефтяных фонтанов, где не эффективны другие средства тушения [25-26].

Известно, что при воздействии на пламя ветра со скоростью 2 м/с, пламя отклоняется на 45°, при этом значительно увеличивается коэффициент захвата воздуха [27]. Тоже самое происходит и при прохождении ударной волны через пламя, при этом скорость прохождения ударной волны значительно больше 2 м/с и составляет сотни метров в секунду. Действие ударной волны, как и бокового ветра, приведет к дестабилизации пламени в пространстве и потери им своей соответствующей структуры. При действии ударной волны в момент ее прохождения через пламя может произойти его частичная турбулизация. А при турбулизации, как известно происходит захват газовых объемов, окружающих пламя, что приведет к достижению нестабильного состояния, когда пламя может оторваться [27]. Кроме этого, действие на газовый факел охлаждающих или ингибирующих средств также приведёт к его отрыву, а при огнетушащей концентрации газа – и к тушению пламени. Таким образом взаимное действие ударной волны и газа на пламя должно значительно увеличить их общий конечный огнетушащий эффект вследствие синергетического эффекта между ними. Повышение эффективности тушения газом при воздействии ударной волны в целом будет вызвано резким изменением условий в зоне реакции горения, которые приводят к мгновенному увеличению энергии активации реакции горения в момент прохождения ударной волны через пламя в среде повышенной концентрации инертного газа за счет изменения всех параметров среды где протекает реакция горения. При этом на границе пламени с атмосферой будут протекать процессы, характерные для взаимодействия газовых сред различных плотностей, которые и будут определять огнетушащую эффективность такой системы. Сбивание пламени одной

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.8

лишь ударной волной при ее низкой мощности, а еще на значительном расстоянии, невозможно. При этом может состояться лишь смещение пламени от места вытекания горючего газа или пара, но после прохождения ударной волны пламя вернется в исходное положение.

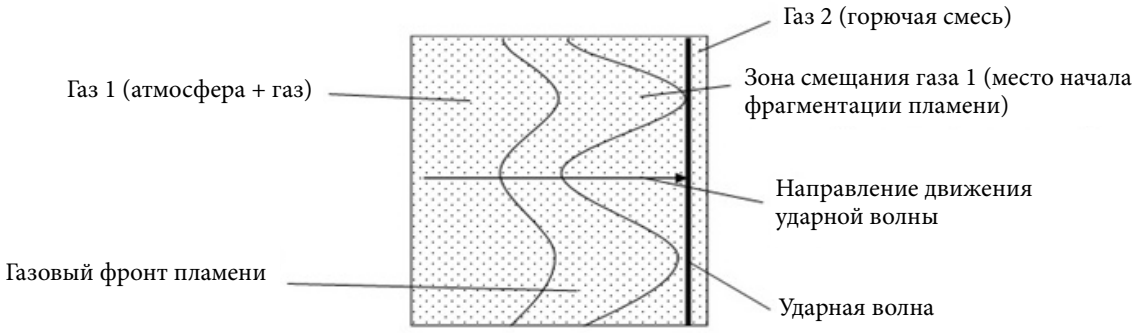


Рис. 1. Вероятные условия начала фрагментации пламени при действии ударной волны на пламя в среде газового огнетушащего вещества

Источник: Собственная разработка.

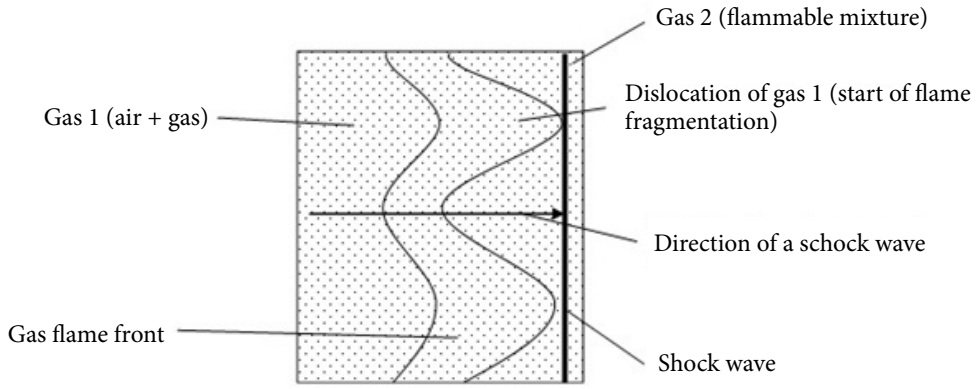


Fig. 1. The probable conditions for the start of the fragmentation of the flame by the action of a shock wave in the flame environment of gas extinguishing agent

Source: Own elaboration.

Соответственно при прохождении ударной волны в газовой среде атмосферы через пламя, вероятно, будет происходить взаимодействие по ее фронту (рис. 1.) с образованием неустойчивости Рихтмаера – Мешкова [28], которая будет возникать на границе двух газов с различными плотностями при прохождении через них ударной волны. При этом газ 1 будет проникать во фронт пламени вызывая образование в нем зоны смещения газа 1 в газ 2, их дальнейшего смешивания и разбавления зоны горения газом 1, что возможно будет приводить к началу фрагментации пламени в этих местах по направлению движения ударной волны. В работе [29] авторы, исследовавшие действие ударной волны на пламя свечи, указали на значительное взаимодействие ударной волны с пламенем, с возможным возникновением эффекта Рихтмаера – Мешкова. Авторы [29] объясняют это расширяющимся потоком, образующимся за ударной волной, после чего пламя быстро диспергируется и затухает. Это происходит в масштабе миллисекунд в узкой зоне и указывает на быстрое ограничение поступления топлива в зону горения, что вероятно, и становится причиной прекращения горения [29]. Кроме того, таким образом в зону горения, будет проникать дополнительное количество инертного газа, который будет действовать и как огнетушащее вещество в зоне горения, и как флегматизатор, когда произойдет смешивание горючей смеси с огнетушащим газом в подготовительной зоне диффузионного пламени.

Исходя из этого и учитывая комплексное воздействие на пламя ударной волны и огнетушащего газа, необходимо более подробно рассмотреть факторы и условия прекращения горения огнетушащими газами при воздействии на пламя ударной волны.

Известно [30], что при введении в горючую газовоздушную смесь огнетушащих газов – углекислого газа, азота, паров воды, гелия, аргона и других, область распространения пламени сужается – нижняя граница растет, а верхняя снижается создавая так называемую точку флегматизации. Для подачи инертного газа в защищаемый объем существуют различные способы подачи и методики расчета огнетушащей концентрации газов. При этом УВ можно использовать во всех случаях для пожаротушения, как при подаче извне, так и изнутри пламени после заполнения объема огнетушащим газом.

В реальных условиях, тушение ударной волной, исходя из литературного анализа, всегда происходит при ее подаче с боковой плоскости пожара. Процесс тушения таким методом описан в работах многих исследователей [15-27], которые использовали ударные волны, образованные в результате взрыва, в основном для тушения лесных пожаров. Так, в работах [31-33] предложено использовать энергию ударной волны, сконцентрированной с помощью отражателя ударной волны, для тушения

в условиях ограниченного объема, а также верхового лесного пожара. В работе [34], для объяснения процесса тушения с помощью УВ рассмотрены теории отражения ударных взрывных волн от кривых поверхностей и дано определение энергетических параметров взрыва. Авторами этой работы [34] в результате проведенных исследований выбрано две гипотезы, которые "переводят" на язык геометрии физическое явление взрыва, и, в определенной степени, согласуются с физической моделью процесса отражения ударных волн. В первой гипотезе взрыв согласуется с особенностями ударных волн при косом отражении от преграды. Показано, что значения давления соответственно перед и за фронтом падающей УВ является сравнительно небольшим и можно считать, что отражения ударных волн должно происходить по "оптическим" свойствам – "угол падения равен углу отражения". Кроме этого, в работе приведены зависимости угла отражения от угла падения для падающих УВ различной силы. Во второй гипотезе указано, что характер затухания волн определяется энергетическими параметрами действия взрывов. Анализ характера затухания взрывных волн позволяет считать, что значения амплитуды взрывной волны на некотором расстоянии является величиной, обратно пропорциональной площади поверхности волны в той фазе, которая соответствует выбранному расстоянию. Автором [34] указано, что эффективность действия взрывных волн определяется путем вычисления величин площадей их поверхностей. При этом авторы предлагают использовать для тушения только ударные волны, без применения огнетушащего вещества. Известно [33], что воздействие УВ на пламя при ее достаточной мощности обеспечивает тушение вследствие отрыва пламени от потока горючего газа или пара, при этом авторы [34,35] предлагают использовать эти и другие особенности ударной взрывной волны, которые в частности базируются на геометрической интерпретации, согласно чему фронты ударных волн являются точечным источником, а отраженные от синусоидального отражателя, будут иметь точки самопересечения. Также в работе указано, что самопересечение поверхностей ударной волны обеспечивает существование замкнутой области низкого давления фронта взрывной волны. На плоскости эта область будет иметь вид криволинейного треугольника, а в пространстве – «криволинейной» призмы. Эти призмы, которые фактически являются полостями разрежения, предложено заполнять огнетушащим порошком, что даст возможность усовершенствовать существующий метод тушения пожаров. Использование порошка, конечно повысит огнетушащую эффективность, но порошок быстро седиментирует и время его огнетушащего действия ограничено. В работе [34] предлагается повысить эффективность пожаротушения использованием отражателей особой формы, которые могут формировать ударную волну цилиндрической формы. Предложенный авторами способ интересен тем, что взрывная волна, полученная в результате подрыва точечного взрывчатого вещества, может иметь в результате отражения от отражателя минимальную площадь, а, соответственно, энергия, которая переносится волной, будет иметь максимальное значение. В работе [36] указано, что при взрыве топливно-воздушной смеси или тротила в ряде случаев наблюдался эффект тушения пожара. Авторы исследовали тушение очагов пожаров размером около 1м^2, состоящих из древесины, древесностружечной плиты, элементов мебели и др. Опыты проводились в диапазоне избыточного давления от 0,05 до 10 кгс/см^2 и длительностью импульса от 0,05 до 2-2,5 с. Авторы упомянутой работы подтвердили мнение о том, что ударная волна может действительно тушить очаги пожаров класса А, легковоспламеняющихся и горючих жидкостей; при этом результаты исследований показали, что даже при давлении более 2 кгс/см^2 полного тушения очагов пожаров не наблюдалось. Основным показателем, согласно результатов работы авторов [36], который определяет процесс тушения пожаров взрывом, является длительность избыточной фазы давления. При длительности положительной фазы давления от 0,01 до 0,2-0,3 с процесс тушения не наблюдался в полном объеме, при этом происходил срыв пламени и повторное возобновление горения, причем отрыв пламени возник при избыточном давлении взрывной ударной волной выше 0,5 кгс/см^2. Вероятно, что кратковременное воздействие на пламя ударной волной небольшой мощности без огнетушащего вещества не приведет к полному тушению, даже если пламя оторвется, но без дополнительно огнетушащего воздействия оно сможет восстановиться. Для эффективного тушения необходим более длинный импульс УВ, что подтверждено результатами экспериментов этих же авторов [36], которые проводились на открытом участке при тушении пожаров твердых горючих материалов, жидкостей и моделей лесных пожаров. Взрыв создавался с помощью тротиловой шашки. При этом параметры ударной воздушной волны колебались с избыточным давлением от 0,02 до 0,15 кгс/см^2 и с длительностью фазы избыточного давления от 0,01 до 0,2 с. Результаты экспериментов показали, что при избыточном давлении во фронте УВ более 0,5 кгс/см^2 и продолжительностью импульса 0,6 с наблюдалось полное тушение пламени без повторного возгорания.

Понятно, что при нарушении равновесия пламени после прохождения через него УВ, его восстановление будет зависеть от физико-химических характеристик окружающей газовой среды. Соответственно, обратное восстановление в атмосфере огнетушащего газа не будет столь простым, так как для этого нужно обеспечить необходимую скорость распространения пламени и стабильное поступления горючей смеси в зону горения желательно в достаточной концентрации, что невозможно при воздействии УВ на пламя. В работе [37] было подтверждено, что действие УВ мощностью в 215 Па приводит к тушению диффузионного пламени н-гептана в условиях камеры. При прохождении ударной волны через пламя возможно воспроизведение большинства условий, которые будут приводить к тушению, и которые характерны для действий разнотипных огнетушащих веществ. Таким образом, прохождение УВ через пламя можно разделить на следующие этапы (рис.2.1): 1 этап - когда фронт УВ находится перед пламенем, 2 этап - когда УВ находится в пламени (рис 2.2), 3 этап когда УВ перешла через пламя (рис 2.3) и 4 этап - тушение, когда произошел отрыв пламени (рис 2.4). Факторы огнетушащего воздействия УВ можно разделить на те, которые действуют перед фронтом УВ, во фронте УВ и за фронтом УВ. Условия приводящие к прекращению горения при воздействии ударной волны, указаны в табл. 1.

При подходе ударной волны к пламени (рис 2.1) в виде скачка уплотнения с избыточным давлением, за ним будет идти зона разрежения, то есть при вхождении ударной волны в пламя (рис.2.2) оно будет испытывать дополнительное растяжение в пространстве и, вследствие этого, значительное увеличение теплоотдачи, что должно привести к торможению или прекращению реакции горения. При этом пламя уже начнет фрагментироваться в результате смещения газовой среды (рис.1.) в результате возможного возникновения неустойчивости Рихтмае-

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.8

Таблица 1. Условия прекращения горения огнетушащими газами при действии ударными волнами
Table 1. The terms of the cease-burning with fire-extinguishing gases under the action of shock waves

Факторы, которые действуют перед фронтом УВ. Рис. 2.1. Factors that act in front of a shock vawe. Fig. 2.1.	**Факторы, которые действуют в фронте УВ. Рис. 2.2. Factors that act in the front of a shock wave. Fig. 2.2.**	**Факторы, которые действуют за фронтом УВ. Рис. 2.3. Factors that act behind the front of a schock wave. Fig. 2.3.**
– увеличение давления и концентрации газов в предпламенной зоне; – смещение зоны горения, вместе с фронтом ударной волны; – снижение температуры вокруг зоны горения. – increase of pressure and concentration of gases in front of the flame; – displacement of the combustion zone, together with the shock wave front; – lowering the temperature around the combustion zone.	– увеличение теплоотдачи в зоне горения. – увеличение плотности газовой среды во фронте ударной волны. – введение в зону горения инертных компонентов, которые забирают на себя тепло. – увеличение концентрации горючего, окислителя так и инертных газов во фронте ударной волны. – охлаждение зоны горения; – увеличение давления в зоне горения; – отталкивание пламени ударной волной от очага где происходит истечение горючих паров и газов. – increase of heat transfer in the combustion zone. – increase of the density of the gas medium in front of the shock wave. – introduction into the combustion zone of the inert components that get warm. – the increase in the concentration of fuel, oxidizer and inert gases in the shock front. – cooling of the combustion zone; – increase pressure in the combustion zone; – assignment of flame shock wave from the source where the expiration of combustible gases and vapors	– уменьшение теплопередачи. – растяжение зоны пламени за ударной волной. – увеличение энергии активации в зоне разрежения за фронтом ударной волны. – reducing heat transfer. – stretching zone of the flame behind the shock wave. – increase of the activation energy in the rarefaction zone behind the shock wave front.

Источник: Собственная разработка
Source: Own elaboration.

ра-Мешкова по площади контакта УВ с пламенем. На рисунке 2.2. белой пунктирной линией указаны места возникновения неустойчивости Рихтмаера-Мешкова. Также прохождение фронта УВ приведет к охлаждению околопламенного пространства и соответственно снижению скорости реакции. После чего ударная волна выходит из пламени (рис. 2.3). Когда УВ проходит через пламя, за ней идет зона разрежения. В момент выхода ударной волны, рис. 2.3 из пламени, оно при недостаточной мощности УВ незначительно сместится по инерции на некоторое расстояние от места его первичной привязки или вообще не сместится, а начнет сразу же фрагментироваться что

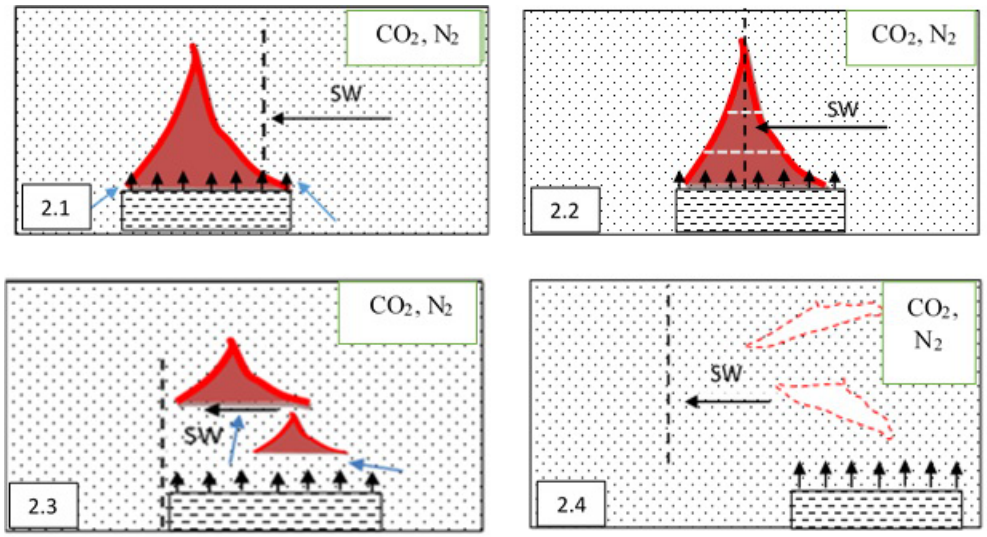


Рис. 2. Этапы комплексного тушения диффузионного пламени ударной волной с газом. 2.1. Ударная волна перед пламенем. 2.2. Ударная волна в пламени. 2.3. Ударная волна за пламенем. Фрагментация пламени. 2.4. Тушение пламени
Fig. 2. Stages of integrated extinguishing of a diffusion flame by the use of a shock wave with a gas. 2.1. The shock wave in front of a flame. 2.2. The shock wave in the flame.
2.3. The shock wave behind the flame. The fragmentation of the flame. 2.4. Extinguishing of the flame
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

приведет к дополнительному захвату пламенем окружающей газовой среды. В результате в пламя будет попадать горючая смесь уже с примесями огнетушащего газа, что приведет к частичному торможению реакции и отрыву кольца зажигания, от которого зависит, как известно, устойчивость диффузионного пламени [38]. При этом, учитывая что конценрация кислорода будет меньше, скорость распространения пламени также будет меньше, и фрагменты пламени не получив подпитку горючей смесью, должны потухнуть (рис. 2.3-2.4).

Известно [38], что достаточно на кольцо зажигания подействовать потоком небольшой скорости и факел может оборваться. Максимально увеличит огнетушащую эффективность ударной волны наличие вокруг пламени огнетушащего газа, когда до выше указанных эффектов добавится эффект флегматизирования горючей смеси в области разрыва, вызванного газовой ударной волной. При этом возможность отрыва пламени и его тушение будет достигаться гораздо легче, поскольку направление движения и скорость ударной волны будут дестабилизировать пламя. Отрыв факела происходит при средних скоростях истечения, намного превышающих скорость распространения пламени [38]. При этом будет происходить, как было указано выше, захват инполярными частями пламени воздуха вместе с огнетушащим газом при условии его присутствия в соответствующей концентрации. Скорость захвата для воздушных масс равна 0,09 для условий спокойного воздуха [39]. Как указано в данной работе, при воздействии ветра или любом другом движении пламени происходит отклонение факела и резкое увеличение коэффициента захвата, что приведет к увеличению количества газовой смеси попадающей внутрь пламени. Таким образом действие ударной волны вместе с газовым огнетушащим веществом должно привести к более быстрому возникновению эффекта Рихтмаера – Мешкова и тушению пламени вследствие его фрагментации при последовательном действии факторов приведенных в таблице 1. Следовательно, учитывая проведенный анализ воздействия УВ на диффузионное пламя, можно установить цель работы, которая заключается в выявлении зависимости огнетушащей концентрации CO_2 и N_2 для диффузионного пламени н-гептана от мощности УВ.

3. Цель работы

Исходя из анализа в области исследований огнетушащей еффективности газов CO_2 и N_2 и возможности использования ударной волны для повышения эффективности газового пожаротушения, можно сформировать цель работы, которая заключается в определении условий и параметров повышения огнетушащей эффективности CO_2 и N_2, а также мощности ударной волны при их совместном комбинированном действии на диффузионное пламя н-гептана C_7H_{16}, а также определении особенностей тушения диффузионого пламени н-гептана в условиях специальной камеры, предложенной комбинированной огнетушащей системы.

4. Методы исследований

Для подтверждения теоретически обоснованного повышения огнетушащей эффективности газов CO_2 и N_2 действием ударной волны, за основу были взяты экспериментальные данные по огнетушащей способности УВ автора [37]. Далее был проведен эксперимент по определению влияния ударной волны мощностью от 125 Па до 180 Па на огнетушащую эффективность CO_2 и N_2 при тушении диффузионного пламени C_7H_{16} в экспериментальной камере по следующей методике и с использованием таких материалов. В эксперименте использовали химически чистые, (99,9%) CO_2 и N_2. Экспериментальная камера (рис. 3) выполнена следующим образом: камера с передней панелью размерами: длина 1980 мм, ширина 485 мм, высота 530 мм, имеющая два люка для внесения тиглей; генератор ударных волн и датчик давления и температуры BMP-180 для контроллеров Arduino, с временем реакции не более 7,5 мс в нормальном режиме измерения [40]. Для получения информации с датчика для контроллера Arduino UNO была использована программа для вывода показаний датчика в интерфейсе CoolTerm._0.stk [41]. Данные значений давления получали сначала в CoolTerm._0.stk, далее копировались и в Excel строились графики. Датчик был установлен в камере на расстоянии 1,75 метра от генератора ударных волн. Сам генератор ударных волн (рис. 4) представляет собой трубу диаметром 70 мм и отверстием 3 мм в нижней стенке, для воспламенения пиротехнического заряда внутри генератора. Воспламение заряда осуществляли источником электрического тока напряжением около 20 V.

Эксперимент проводили следующим образом. В камере устанавливался тигель диаметром 40 мм и глубиной 35 мм с предварительно зажженным на 20 секунд н-гептаном, на расстоянии 1750 мм от генератора ударных волн (рис 4), после чего заполняли камеру газом соответствующей концентрации и задействовали генератор ударных волн, пропуская по камере ударную волну соответствующей мощности и фиксировали результат - «тушение», «не тушение», «изменения в пламени». После каждой попытки объем камеры продували для следующего опыта. После проведения эксперимента, соответствующие состояния тушения пламени были зарегистрированы на камеру Nikkon 1 J4 с частотой съемки 1200 кадров.

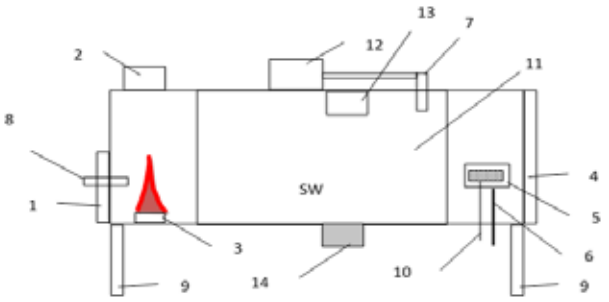


Рис. 3. Экспериментальная установка для определения огнетушащей эффективности газового огнетушащего вещества под действием ударной волны: 1. Люк для тигля. 2. Вентиляционное отверстие с вентилятором и задвижкой. 3. Тигель. 4. Люк. 5. Генератор ударных волн. 6. Крепления генератора ударных волн. 7. Патрубок для газа. 8. Датчик давления Б. 9. Стойки. 10. Электровоспламенитель. 11. Смотровое окно (SW). 12. Газовый счетчик. 13. Вентилятор. 14. Источник питания электровоспламенителя

Fig. 3. An experimental stand for determining fire extinguishing effectiveness of the gas extinguishing agent under the influence of a shock wave. 1. Hatch for the crucible. 2. Vent with a fan and a valve. 3. Crucible. 4. Luke. 5. The shock wave generator. 6. Fastening of the shock wave generator. 7. An inlet for gas. 8. Pressure sensor B. 9. Legs. 10. Electric igniter. 11. The observation window. 12. Gas meter. 13. Fan. 14. Power source of an electric igniter
Источник: Собственная разработка
Source: Own elaboration.

Стрелкой указано направление движения ударной волны. Для создания ударной волны использовали взрывы зарядов пироксилинового пороха, которые помещали внутрь генератора УВ.

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.8

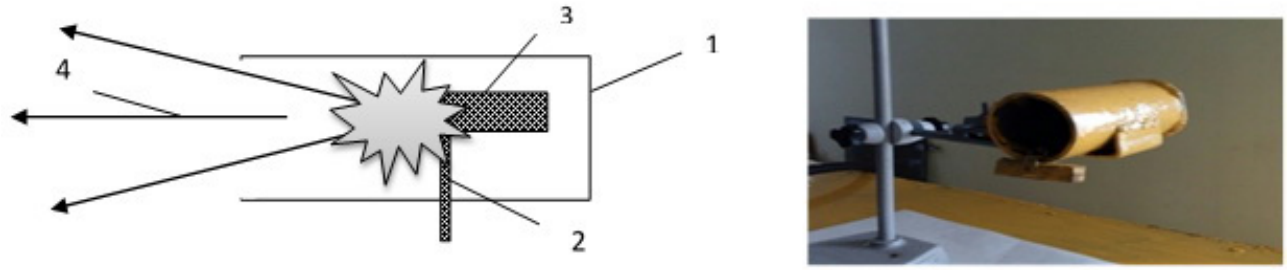


Рис. 4. Генератор ударных волн: 1. Корпус генератора ударных волн. 2. Электровоспламенитель. 3. Пороховой заряд. 4. Направление движения ударных волн
Fig. 4. The shock wave generator: 1. The body of the shock wave generator. 2. Electric igniter. 3. Powder charge. 4. The direction of shock waves motion.
Источник: Собственная разработка
Source: Own elaboration.

5. Результаты

По данной методике были получены результаты эксперимента по определению огнетушащей эффективности самой ударной волны в условиях камеры, которая составляет 215 Па. Процесс тушения ударной волной с давлением около 215 Па показан на рис 5.1 и описан в работе [37].

В работе [37] показано начало воздействия УВ на пламя, при этом стрелкой указано место тигля, а большей стрелкой – направление движения ударной волны; рис 5.2 – стрелкой указано крайнюю точку смещения пламени при контакте с фронтом УВ; рис. 5.3 – дальнейшее смещение и частичный отрыв пламени; рис. 5.4 – отрыв пламени от тигля. Стрелкой указано крайнюю точку отрыва; рис.5.5 – полный отрыв пламени. Стрелкой указано крайнюю точку отрыва пламени от тигля; рис.5.6 – отрыв и начало фрагментации пламени на 3 части; рис.5.7 – дальнейшая фрагментация пламени; рис.5.8 – рассеивание частей пламени, тушение. 5.9 – тушение частей пламени. Первый этап тушения УВ включает в себя воздействие зоны с избыточным давлением на пламя, эффект от которого видно на рис. 5.2 – 5.5. При этом происходит отрыв пламени и образование зоны нагретых газов и продуктов горения между пламенем и поверхностью тигля, что можно увидеть по «следу» рис. 5.6, оторванного пламени, который, судя по цвету газа, имеет меньшую температуру. Далее в процессе отрыва пламени этот «след» становится более длинным, и параллельно отрыву в нем происходит догорание горючей смеси, что видно на рис. 5.6 – 5.8. После этого пламя растягивается и фрагментируется на три отдельных объекта пламени – рис. 5.6 – 5.8. После прохождения УВ образованные фрагменты пламени догорают, рассеиваются и гаснут – рис. 5.9-5.11. [37]

Учитывая результаты эксперимента по тушению диффузионного н-гептанового пламени самой УВ, было проведено экспериментальное определение огнетушащей эффективности газов CO_2 и N_2 при воздействии на пламя ударной волной при их определенных концентрациях. При определении огнетушащей эффективности комбинированной системы, ударная волна – CO_2 или N_2 значение давления во фронте УВ соответствовали давлениям примерно 125 Па (рис. 6) и 180 Па (рис. 7). Поведение пламени при воздействии на него УВ с давлением 125 Па и 180 Па в зависимости от изменения концентрации CO_2 и N_2 показано в таблицах 1 и 2, а на графиках (рис. 8, 9) показана зависимость огнетушащей концентрации CO_2 и N_2 от мощности УВ.

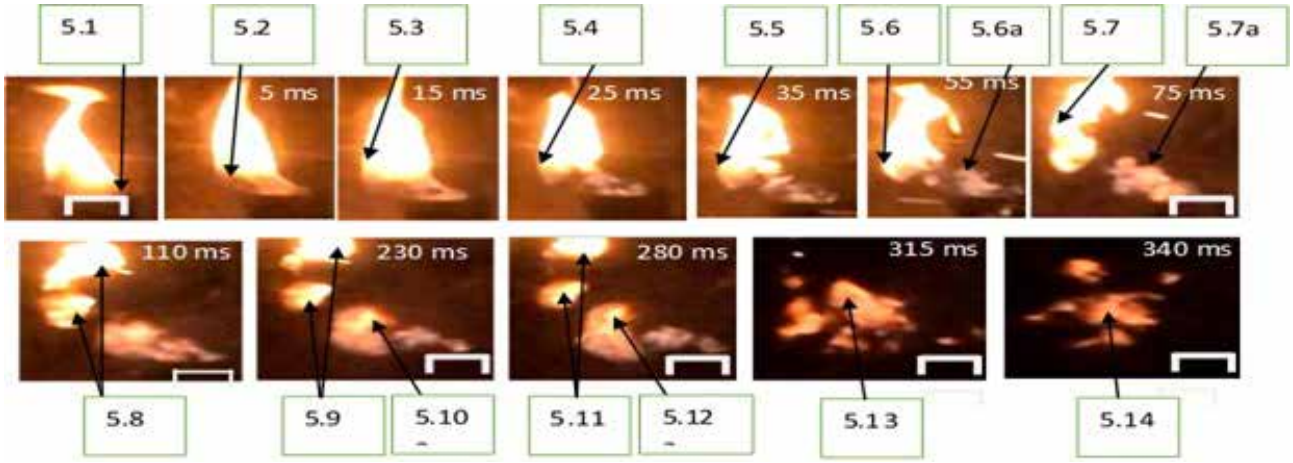


Рис. 5. Раскадровка момента тушения пламени гептана C_7H_{16} ударной волной с мощностью 215 Па, время тушения ≈ 350 мс. Стрелкой указано направление ударной волны
Fig. 5. Storyboard of the moment of extinguishing heptane C_7H_{16} flame with a shock wave with a pressure of 215 Pa, time needed to extinguish the flame $\tau \approx 50$ ms. The arrow indicates the shock wave direction
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

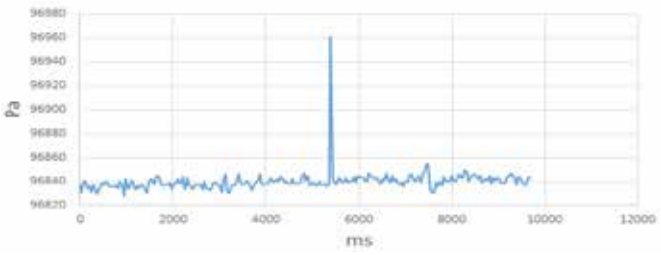


Рис. 6. Ударная волна с избыточным давлением 125 Па
Fig. 6. A shock wave with a pressure of 125 Pa
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

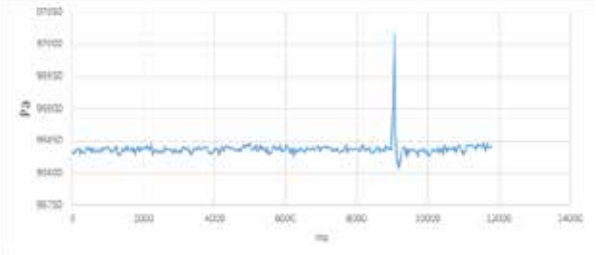


Рис. 7. Ударная волна с избыточным давлением 180 Па
Fig. 7. A shock wave with a pressure of 180 Pa
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

Таблица 2. Воздействие ударной волны мощностью в 125 и 180 Па на огнетушащую эффективность CO_2 при тушении диффузионного пламени н-гептана C_7H_{16}

Table 2. The impact of a shock wave with a pressure of 125 and 180 Pa for the fire extinguishing efficiency of CO_2 to extinguish diffusion flames of n-heptane C_7H_{16}

№	%CO_2	125 Pa	Результат / The result	%CO_2	180 Pa	Результат / The result
1	14,0	-	Нестабильность пламени The instability of the flame	3,0	-	Нестабильность пламени The instability of the flame
2	16,0	-	Частичный отрыв пламени. Partial separation of the flame	6,0	+	Частичный отрыв пламени. Partial separation flame
3	20,3	+	Тушение отрывом Extinguishing by the fire separation	8,2	+	Тушение отрывом Extinguishing the fire separation
4	21,2	+	Мгновенное тушение Instant fire suppression	10,2	+	Мгновенное тушение Instant fire suppression

Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

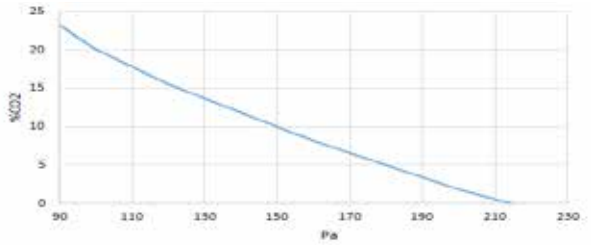


Рис. 8. Зависимость огнетушащей концентрации[2] % CO_2 для пламени н-гептана (C_7H_{16}) от мощности ударной волны (Па)
Fig. 8. The dependence of % CO_2 extinguishing concentration for n-heptane flame (C_7H_{16}) on the power of the shock wave (Pa)
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

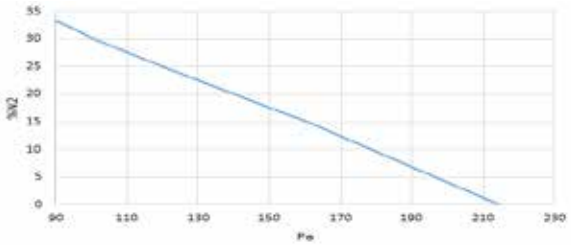


Рис 9. Зависимость огнетушащей концентрации % N_2 для пламени н-гептана (C_7H_{16}) от мощности ударной волны
Fig. 9. The relationship between the percentage of N_2 extinguishing concentration for n-heptane flame suppression (C_7H_{16}) and the pressure of the shock wave
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

[2] Огнетушащая концентрация – минимальная концентрация газа, при которой происходит отрыв и тушение пламени при заявленных условиях.

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.8

Таблица 3. Воздействие ударной волны мощностью в 125 и 180 Па на огнетушащую эффективность N_2 при тушении диффузионного пламени н-гептана C_7H_{16}

Table 3. The impact of a shock wave with a capacity of 125 and 180 Pa on fire extinguishing efficiency of N_2 to extinguish diffusion flames of n-heptane C_7H_{16}

№	% N_2	125 Па / Pa	Примечание / Note	% N_2	180 Па / Pa	Примечание / Note
1	24,0	-	Нестабильность пламени The instability of the flame	12,0	-	Нестабильность пламени The instability of the flame
2	26,0	-	Нестабильность пламени The instability of the flame	14,0	+	Частичный отрыв пламени Partial separation flame
3	28,0	-	Тушение отрывом Extinguishing by the fire separation	15,4	+	Тушение отрывом Extinguishing the fire separation
4	30,2	+	Мгновенное тушение Instant fire suppression	18,0	+	Мгновенное тушение Instant fire suppression

Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

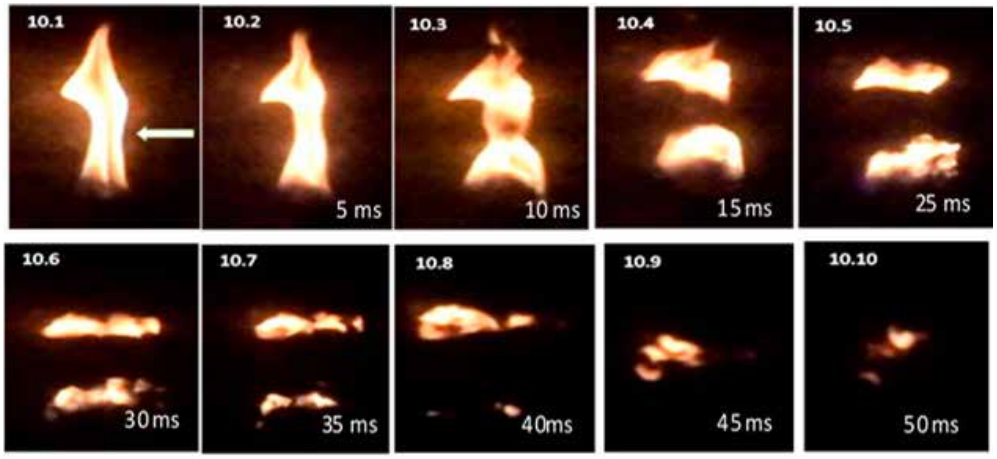


Рис. 10. Раскадровка во времени момента тушения диффузионного пламени н-гептана ударной волной с мощностью P = 180 Па и концентрацией CO_2 = 8,2%, Время тушения ≈ 50 мс. Стрелкой указано направление ударной волны
Fig. 10. Storyboard of the time of extinguishing diffusion flames of heptane with a shock wave with a pressure of P = 180 Pa and CO_2 concentration at 8.2%, the time needed to extinguish the flame ≈ 50 ms. The arrow indicates the shock wave direction
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

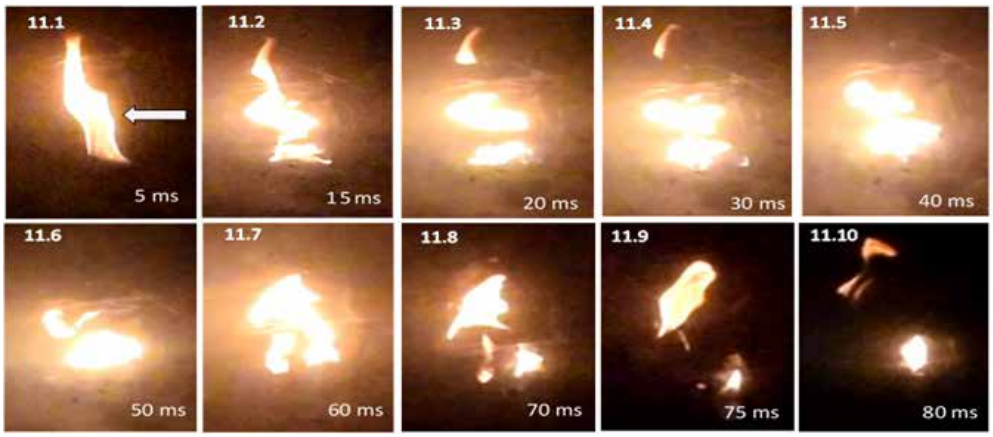


Рис. 11. Раскадровка во времени момента тушения диффузионного пламени н-гептана ударной волной с мощностью P = 180 Па и концентрации N_2 = 23,4%. Время тушения ≈ 84 мс. Стрелкой указано направление ударной волны
Fig. 11. Storyboard in time the moment of extinguishing of diffusion flames of n-heptane shock wave with a pressue P = 180 Pa and the concentration of N_2 = 23.4%. Extinguishing time ≈ 84 ms. The arrow indicates the shock wave direction
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

Погрешность экспериментальных данных составляла около 10%. Количество опытов на получение одной точки составляло не менее 3-х. Если результаты эксперимента имели значительные различия, эксперимент повторяли еще 3 раза до получения стабильного результата. Видеофиксация позволяет определить особенности поведения пламени в момент его тушения при действии на него УВ в указанных условиях. На рис. 10 показано раскадровку этапов тушения диффузионного пламени CO_2 при действии на пламя н-гептана УВ с давлением во фронте 180 Па.

Таким образом из таблиц 2 и 3 видно, что огнетушащее действие ударной волны с давлением во фронте в 125 Па обеспечивает тушение пламени н-гептана при 20,3% CO_2 и 30,2% N_2. При увеличении мощности ударной волны до 180 Па происходит уменьшение огнетушащей концентрации CO_2 до 8,2%, а N_2 – до 15,4%.

6. Дискуссия о методах и результатах

Для подтверждения выдвинутых выше предположений о действии комбинированной системы УВ + огнетушащий газ на пламя, было проанализировано раскадровку процесса тушения при действии УВ с давлением 180 Па и газами CO_2 и N_2 на диффузионное пламя н-гептана. При раскадровке тушения CO_2 (рис. 10) было обнаружено, что тушение пламени УВ происходит при давлении в 180 Па за 50 mc, что меньше в 7 раза чем при тушении самой лишь УВ (≈350 mc) без газа. При этом при сравнении рисунков видно, что пламя во всех случаях при наличии CO_2 фрагментируется на 2 большие части (рис. 10.4-10.6), которые позже тоже незначительно фрагментируются (рис. 10.7-10.8), уменьшаются в размерах (рис. 10.9-10.10) и тухнут. Отличием в тушении УВ с добавкой газа является то, что при тушении УВ с CO_2 или N_2, и самой УВ, фрагментация в последнем случае проявляется больше, так как пламя делится на несколько частей, что можно увидеть на рисунке 5 позиция 5.8 – 5.14. Кроме этого, как видно из рисунка 10, при тушении с наличием газа, позиции 10.2-10.8, пламя почти не смещается от уровня тигля, не наклоняется и не сильно фрагментируется с наклоном, как в случае тушения лишь самой УВ (рис. 5 поз. 5.9-5.12), а сразу разделяется на две большие части (рис. 10 поз. 10.4-10.7) и тухнет на 50 миллисекунде. Далее было проведено раскадровку процесса тушения диффузионного пламени азотом при его концентрации 15,5% и мощности ударной волны в 180 Па. В случае с азотом (рис. 11) процесс почти полностью повторяется, пламя так же разделяется на 2 большие части рис. 11.2-11.7 после чего части пламени незначительно уменьшаются в размерах, отрываются и тухнут на 84 миллисекунде. Исходя из результатов эксперимента, и как видно из раскадровки процесса тушения УВ с добавкой CO_2 или N_2, время тушения соответственно уменьшается в 7 и 4,2 раза по сравнению со временем тушения самой УВ. При этом, как видно из результатов розкадровки, время фрагментации без действия газов значительно больше и при сравнении с комбинированным тушением ударной волной и газами, в случае с CO_2 фрагментация начинается на 5 миллисекунде, с N_2 – на 15 миллисекунде, а в случае тушения самой ударной волной заметная фрагментация пламени начинается на 100-110 миллисекунде. Значительное уменьшение времени начала фрагментации при добавлении газов указывает на усиление огнетушащего действия вероятно в результате значительного увеличения теплоотдачи в зоне горения, увеличения плотности газовой среды во фронте ударной волны, ввода в зону горения инертных компонентов, которые поглощают тепло.

Таким образом, принимая во внимание значительное снижение огнетушащей концентрации CO_2 и N_2 можно утверждать, что повышение огнетушащей эффективности такой комбинированной системы достигается вследствие синергизма между огнетушащими газами и УВ. При этом огнетушащие газы CO_2 и N_2 обеспечивают дополнительный огнетушащий эффект в результате совместного действия вышеперечисленных факторов (табл. 1) что приводит к предполагаемому значительному повышению энергии активации реакции горения, и значительному осложнению распространения пламени по неоднородной газовой смеси, которая возникает после прохождения УВ через пламя. Следовательно, ударная волна небольшой мощности в диапазоне мощности до 215 Па приведет к значительному повышению огнетушащей эффективности CO_2 и N_2 в условиях камеры, для модельного очага горения н-гептана в тигле. При этом ударные волны большей мощности могут значительно повышать огнетушащую эффективность газовых огнетушащих веществ, когда тушение производится в больших масштабах, или в скрытых и труднодоступных местах, за счет их отражения от стенок оборудования конструкций, и других помех, при значительно более низких концентрациях огнетушащих газов. При этом в первую очередь, необходимо обратить внимание на то, что снижение огнетушащей концентрации газовых огнетушащих веществ является прямым подтверждением того, что действие УВ приведет к повышению энергии активации, в основном вследствие увеличения концентрации огнетушащего газа, который будет попадать в зону горения в результате фрагментации пламени и создания по всему фронту пламени условий для возникновения нестабильностей Рихтмаера – Мешкова, что приведет к фрагментации фронта горения, его охлаждению и торможению реакции за счет взаимопроникновения газов и их турбулентного перемешивания в переходном слое «пламя – атмосфера». Таким образом, одновременное воздействие всех перечисленных факторов значительно повышает эффективность тушения газовыми огнетушащими веществами при воздействии на пламя ударной волны. При сравнении результатов тушения УВ в работе [37] указано что ударная волна при давлении 190 Па к тушению не приводит, но как показали результаты эксперимента, при добавлении CO_2 или N_2 был установлен факт тушения диффузионного пламени н-гептана даже при незначительных их концентрациях (рис. 8, 9). При этом значительно уменьшается время тушения и если сравнивать тушение ударной волной с давлением в 316 Па [37] то время тушения даже при этом составляло около 300 милисекунд. Кроме того, ускоряется начало фрагментации пламени и уменьшается необходимое для тушения давление в фронте ударной волны, кроме того, при этом смещения пламени не наблюдалось, как и в случае тушения более мощной УВ с давлением 316 Па.

В итоге, результаты эксперимента показали, что огнетушащая эффективность газов при воздействии ударной волны значительно повышается, как и теоретически было прогнозируемо и обоснованно. Полученные зависимости показали значительное повышение огнетушащей эффективности CO_2 и N_2 даже при весьма незначительном давлении во фронте ударной волны.

7. Вывод

В работе теоретически обоснована и экспериментально подтверждена возможность значительного повышения огнетушащей эффективности газов CO_2 и N_2 ударной волной на примере тушения диффузионного пламе-

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.8

ни н-гептана в камере на расстоянии до 2-х метров. При этом экспериментально определено, что огнетушащая концентрация уменьшается в 2,5 раза для CO_2 и в 2 раза для N_2 при мощности ударной волны в 180 Па для диффузионного пламени н-гептана. Експериментально определено, что общим результатом действия ударной волны и огнетушащего газа будет значительное уменьшение времени тушения диффузионого пламени н-гептана, которое в случае CO_2 уменшается до 7 раз, а для N_2 – до 4,2 раз, при сравнении с временем тушения самой ударной волной, время тушения которой составляет около 350 мс. Экспериментально определены особенности тушения дифузионого пламени н-гептана в условиях специальной камеры, предложенной комбинированной огнетушащей системой, которые заключаются в том, что время начала фрагментации значительно уменьшается и пламя при этом диспергируется меньше, что приводит к его более быстрому тушению.

Таким образом новая технология повышения эффективности газового пожаротушения может разрешить проблему тушения объектов на которых необходимо поддерживать определенный уровень кислорода, а также разрешит значительно уменьшить их выбросы в атмосферу при сохранении, и даже увеличении их огнетушащей эффективности.

Литература

[1] Carbon dioxide CO_2. Thing global green webservice, http://www.thinkglobalgreen.org/carbondioxide.html [accessed: 25.07.2016].

[2] United Nation Environmental Program (UNEP), Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer, Report of the Halon Fire-extinguishing Agents Technical Options Committee, 1994.

[3] Kyoto Protocol To The United Nations Framework Convention On Climate Change, http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kprus.pdf [accessed: 25.07.2016].

[4] Carhart H. W., Fielding F. J., *Applications of Gaseous Fire Extinguishants in Submarines," Symposium on Appraisal of Halogenated Fire Extinguishing Agents*, National Academy of Sciences, Washington DC 1972, 239-256.

[5] Sakei R., Saito N., Saso Y., Ogawa Y., Inoue Y., Flame-extinguishing Concentrations of Halon Replacements for Flammable Liquids, Report of Fire Research Institute of Japan, 1995, 36-42.

[6] Moore T.A., Yamada N, *Nitrogen gas as a halon replacement*, Halon Options Technical Working Conference 12–14 May. 1998, 330–338.

[7] Fire suppression systems inert gases, http://www.aft.net/products/fire-suppression/inert-gases [accessed: 25.07.2016].

[8] Saito N., Saso Y., Ogawa Y., Otsu Y., Kikui H., *Fire Extinguishing Effect Of Mixed Agents Of Halon 1301 And Inert Gases*, "Fire Safety Science" 1997, 5, 901–910.

[9] Balanyuk V.M., Zhurbinskiy D.A., *Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosol sprays*, BiTP Vol. 32 Issue 4, 2013, pp. 53–58.

[10] Węsierski T., Wilczkowski S., Radomiak H., *Wygaszanie procesu spalania przy pomocy fal akustycznych*, BiTP Vol. 30 Issue 2, 2013, pp. 59-64.

[11] Poisot T., Yip B., Veynante P., Trouve A., Samaniego J. M., Candel S., *Zero-g acoustic fire suppression system*, «Journal de Phisique III», 1992, 2, 1331.

[12] Anthony S., DARPA creates sound-based fire extinguisher, http://www.extremetech.com/extreme/132859-darpa-creates-sound-based-fire-extinguisher. [accessed: 25.07.2016].

[13] Zeldovych Ya.B., Raizer Yu.P. *Fyzyka udarnykh voln y vysokotemperaturnykh hydrodynamycheskykh yavlenyi*, Nauka, Moskva 1966, 686.

[14] Hryshyn A.M., Zyma V.P., Kasymov D.P., *Prymenenye vzryvchatykh veshchestv v ustroistvakh lokalyzatsyy y tushenyia pryrodnykh pozharov*, „Pozharovzryvobezopasnost'" 2015, 24(7).

[15] Balaniuk V.M., Kopystynskyi Yu.O., Lavreniuk O.I. *Vzaiemodiia polumia i vohnehasnoho aerozoliu rechovyny pid vplyvom udarnoi khvyli*, „Pozhezhna bezpeka" 2011, 18, 71-75.

[16] Kurbatskyi N.P., Valendyk Ye.N., *Lokalyzatsyia lesnykh pozharov nakladnymy shnurovymy zariadamy*, Krasnoiarskyi rabochyi, Krasnoiarsk 1970, 320-332.

[17] Reva H.V., Kutsenko L.M., *Metod otsinky intensyvnosti dii udarnoi khvyli napravlenoho vybuvu dlia hasinnia lisovykh pozhezh,* KhIPB, Kharkiv 1998, 80.

[18] Grishin A., *Interaction of shockwaves with tree crowns and the front of crown forest fires*, Proceedings of the 19th International Symposium on Shock Waves Held at Marseille, France, 26-30 July 1993, Springer, 411-417.

[19] Grishin, A.M., Perminov V.A., *Mathematical modeling of the ignition of tree crowns*, "Combustion, Explosion, and Shock Waves" 1998, 34(4), 378-386.

[20] Grishin, A.M., Zima V.P., Mashovich A.Ya, Samoilov V.I., *Experimental study between shock generated with point charges and crowns* [w:], *Proceedings of international conference*, Tomskiy Gosudarstvennyy Universitet, Tomsk 2000, 83-85.

[21] Grishin A.M., Golovanov A.N., *Extinction of combustible forest materials by constant and varying actionsof an inert gas flow in the combustion zone*, „Combustion, Explosion, and Shock Waves" 2001, 37(5), 558-562.

[22] Senchykhyn Yu.N., Huzenko V.A., *Tushenye lesnykh pozharov napravlennymy vzryvam*y, [w:] *Krupnye pozhary: preduprezhdenye y tushenye: Mater. 16 nauch.-prakt. konf. Ch. 2.*, VNIIPO, Moskva 2001, 112-114.

[23] Hryshyn A.M., Zyma V.P., RU 2458716 S1, 20.08.2011.

[24] Hryshyn A.M., Zyma V.P., RU 2496539, 16.08.1998.

[25] Hryshyn A.M., Zyma V.P. Svidete'lstvo PM 10582 Rossyiskaia Federatsyia. Dezyntehrator fronta nyzovoho lesnoho pozhara s ohnehasiashchym patronom / №98120291 zaiavl.02.11.1998; opubl. 16.08.1998, Biul. №8.

[26] Hruzdev A.H., Kaidalov V.V., Osypkov V. N., Oryonov Yu.Э., Strelets A.V., Yashnev Yu.Y., *Sovremennye tekhnolohyy kombynyrovannoho tushenyia pozharov hazovykh, hazoneftianykh y neftianykh fontanov*, „Pozharnaia bezopasnost: sb. nauchn. dokl." 2011, 3, 84-88.

[27] Drysdale, D.D., *Vvedenye v dynamyku pozharov*, Bomshtein K.H. (transl.), Stroyizdat, Moskva 1985, 423.

[28] Ruev H.A, Fedorov A.V., Fomyn V.M., *Razvytye neustoichyvosty Rykhtmaiera – Meshkova pry vzaymodeisvyy dyffuzyonnoho sloia smeshenyia dvUV hazov s udarnymy volnamy*, „Prykdladnaia mekhanyka y tekhnycheskaia fizyka" 2005, 46(3), 3-11.

[29] Doig G., Johnson Z., Mann R., *Shock Wave Interaction with a Flame*, 18th Australasian Fluid Mechanics Conference Launceston, Australia 3-7 December 2012, NSW 2052.

[30] Abdurahymov Y.M., Hovorov V.Iu., Makarov V.E, *Fyzyko-khymycheskye osnovy razvytyia y tushenyia pozharov*, VPTSh MVD SSSR, Moskva 1980, 255.

[31] Balaniuk V.M. Kopystynskyi Yu.O., Lavreniuk O.I., *Vyznachennia efektyvnosti hasinnia vohnehasnoiu aerozolnoiu rechovynoiu v umovakh zastosuvannia hazovykh udarnykh khvyl*, „Pozhezhna bezpeka: zb. nauk. Prats" 2012, 21, 23-28.

[32] Balaniuk V.M., Boiko T.B., Kopystynskyi Yu.O., Zhurbynskyi D.A., *Vykorystannia udarnykh khvyl pry hasinni dyfuziinoho polumia vohnehasnymy aerozoliamy*, „Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka: ChIPB" 2014, 18, 32-37.

[33] Reva H.V., *Hasinnia verkhovykh lisovykh pozhezh udarnymy khvyliamy napravlenykh vybkhiv*, „Pozhezhna bezpeka: teoriia i praktyka" 1999, 3-6.

[34] Huzenko V.A., Senchykhyn Yu.M., Rudenko S.Iu., *Udoskonalennia metodu hasinnia lisovykh pozhezh napravlenym vybиpom za rakhunok vykorystannia osoblyvostei formy udarnykh vybukhovykh khvyl*, „Problemy pozharnoi bezopasnosty" 2011, 29, 50-54.

[35] Reva H.V., Kutsenko L.N., Kuleshov N.N., *Izobrazhenye fronta udarnoi volny, otrazhennoi tsylyndrycheskoi synusoydalnoi*

poverkhnostiu, [w:] *Problemy horenyia y tushenyia pozharov na rubezhe vekov : mater. XV nauchno-praktycheskoi konferentsyy*, VNIIPO, Moskva 1999, 1307- 1309.
[36] Kopylov N.P., Moskvylyn E.A.,. Zharkov V.H, Sushkyna Ye.Iu., *Tushenye ochahov pozhara vzryvom*, [w:] *Krupnye pozhary: preduprezhdenye y tushenye: sb. tez. dokl. Materyaly XVI nauchno-praktycheskoi konferentsyy*, VNIIPO, Moskva 2001, 27-28.
[37] Balanyuk V.M., *Extinguishment of n-heptane diffusion flames with the shock wave*, BiTP Vol. 42, Issue 2, 2016, pp. 103-111.
[38] Khytryn A.N., *Fizika gorenyia i vzryva*, Izdatel'stvo Moskovskogo Universiteta, Moskva 1957, 442.
[39] Morton B.R., Taylor G., Turner J.S. Turbulent gravitation convection from maintained and instantaneous sources, "Proc Roy Soc A" 1956, 234(1196).
[40] BMP180 Digital pressure sensor data sheet, https://www.adafruit.com/datasheets/BST-BMP180-DS000-09.pdf [accessed: 10.07.2016].
[41] CoolTerm application, http://freeware.the-meiers.org/ [accessed: 10.07.2016].

* * *

Баланюк Владимир Мирчевич – докторант, кандидат технических наук, доцент. В 2007 году защитил диссертацию по специальности пожарная безопасность. С 2007 года работал на кафедре процессов горения и общей химии Львовского государственного университета безопасности жизнедеятельности. Область научных интересов: теоретические и экспериментальные исследования процессов горения, аэрозольные, порошковые, газовые, комбинированные средства пожаротушения, огнезащитные покрытия для древесины и металлов.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 95–104

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.9

mgr inż. **Wojciech Szymkuć**[1]
dr hab. inż. **Adam Glema**, prof. PUT[1]
mgr inż. **Michał Malendowski**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 17.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Odporność ogniowa słupów stalowych i żelbetowych nagrzewanych z mniej niż czterech stron[2]

Fire Resistance of Steel and Reinforced Concrete Columns Exposed to Fire on Less Than Four Sides

Огнестойкость стальных и железобетонных колонн, обогреваемых с менее четырех сторон

ABSTRAKT

Wprowadzenie: W artykule przedstawiono problemy związane z odpornością ogniową słupów stalowych i żelbetowych nagrzewanych z mniej niż czterech stron, z uwzględnieniem elementów wbudowanych w ściany oddzielenia przeciwpożarowego. Jednostronne nagrzewanie słupa sprawia, że na jego przeciwległych stronach występują różne temperatury. Prowadzi to do powstawania przemieszczeń poziomych, które wywołują dodatkowe siły wewnętrzne w samym słupie, jego zamocowaniu oraz w przylegającej konstrukcji.
Metody: W odniesieniu do słupów stalowych wskazano, że w normie PN-EN 1993-1-2 brakuje metod uproszczonych pozwalających na obliczenie nośności słupów stalowych poddanych oddziaływaniu wysokiej temperatury tylko z jednej strony. Opisano najważniejsze wnioski z prac badawczych przeprowadzanych w tym obszarze w ostatnich latach i wskazano możliwą do zastosowania metodę obliczania nośności tego typu elementów, uwzględniającą nierównomierny przebieg temperatury w elemencie. Tego typu nagrzewanie i związana z nim nierównomierna temperatura w obrębie przekroju sprawiają, że stal, w zależności od jej położenia w przekroju, wykazuje różne wartości parametrów takich jak granica plastyczności i moduł sprężystości. Uwzględnienie w obliczeniach rzeczywistej temperatury stalowego słupa pozwala na oszacowanie jego przemieszczeń, wywołanych wpływem nierównomiernej temperatury, od których zależą wielkości sił wewnętrznych i jego nośność.
W odniesieniu do słupów żelbetowych opisano podstawowy podział metod obliczania nośności zawartych w PN-EN 1992-1-2, ze szczególnym zwróceniem uwagi na ich ograniczony zakres stosowania z uwagi na: typ konstrukcji, długość elementu, smukłość oraz wielkość mimośrodu obciążenia. Dokonano przeglądu metod pod kątem stosowania ich przy narażeniu na działanie ognia z mniej niż czterech stron. Przybliżono metodę zawartą w niemieckim załączniku krajowym do DIN-EN 1992-1-2, która pozwala na obliczenie nośności słupów wspornikowych poddanych działaniu ognia z jednej, trzech lub czterech stron. Przywołano pozycje literaturowe podające uproszczone metody obliczeń wraz z wnioskami.
Dyskusja i Podsumowanie: Spośród potencjalnych rozwiązań omawianego problemu można wyróżnić: umieszczenie słupów poza ścianą oddzielenia pożarowego, zaprojektowanie połączenia pozwalającego na zawalenie się konstrukcji dachu do wnętrza hali, bez wywoływania nadmiernych sił poziomych oddziałujących na głowicę słupa lub wykorzystanie usztywnienia przylegającej konstrukcji do przeniesienia sił poziomych. Z uwagi na poziom skomplikowania bardziej zaawansowanych metod obliczania nośności, wskazane jest opracowanie metod uwzględniających nierównomierne nagrzewanie w sposób uproszczony, na bazie faktycznych przypadków pożarów budynków.

Słowa kluczowe: odporność ogniowa, słup poddany działaniu ognia, ściana oddzielenia przeciwpożarowego, pożar, temperatura
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Introduction: The paper describes problems associated with fire resistance of steel and reinforced concrete columns exposed to fire on less than four sides (such as embedded in firewalls). One-sided exposure is associated with varying temperatures on both sides of the column, which leads to the formation of lateral displacement, causing additional forces in the column, its fixing and in the adjacent structure.
Methods: Steel columns: It is emphasised that in PN-EN 1993-1-2 there are no simplified methods which allow to calculate the load-bearing capacity of columns exposed to fire on one side. The article describes the most important conclusions of research work carried out in recent years with an indication of a potential method for calculating load-bearing capacity of such elements, which allows to take into consideration the uneven temperature in a given element. This type of heating and uneven temperature within the cross-section resulting from it, is associated with the variation of material parameters such as yield strength and elasticity modulus depending on location in the cross-section.

[1] Politechnika Poznańska / Poznan University of Technology; wojciech.szymkuc@put.poznan.pl;
[2] Procentowy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / Percentage contribution: W. Szymkuć – 70%, A. Glema – 15%, M. Malendowski – 15%;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.9

Reinforced concrete columns: Basic division of methods provided by PN-EN 1992-1-2 is described with special emphasis on scope of its application limited by: the type of construction, the length of the element, its slenderness and the load eccentricity. A review of methods was performed in terms of their application when exposed to fire on less than four sides. A method in the German National Annex to DIN EN 1992-1-2 is described in detail; it allows to calculate the capacity of the load-bearing capacity of cantilever columns exposed to fire from one, three or four sides. Simplified additional methods from literature are briefly described along with their conclusions.
Discussion and Conclusions: The following can be distinguished among potential solutions to the problem: placing the columns outside the firewall, designing a special connection which allows the roof structure to collapse into the warehouse without causing excessive horizontal forces acting on the column or using bracing of the adjacent structure to transfer horizontal forces. However, due to the complexity of more sophisticated methods, it would be advisable to develop methods taking into account uneven exposure in a simplified manner, based on actual cases of fires in buildings.

Keywords: fire resistance, column exposed to fire, fire wall, fire, temperature
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Введение: В статье представлены проблемы, связанные с огнестойкостью стальных и железобетонных колонн, обогреваемых с менее четырех сторон, в том также их элементов, встроенных в противопожарные стены. Односторонний нагрев, связанный с присутствием разных температур по обеих сторонах колонны, приводит к образованию горизонтального перемещения, в результате чего возникают дополнительные внутренние силы относительно эксцентриситета как в самой в колонне, так и в ее креплении (изгибающий момент) и прилегающей к ней конструкции.
Методы: Стальные колонны. Показано, что в стандарте PN-EN 1993-1-2 отсутствуют упрощенные методы расчета, которые позволяли бы определять несущую способность стальных колонн, подвергаемых воздействию высокой температуры с одной стороны. В статье описываются важнейшие заключения из исследовательских работ, проводимых за последние годы, и указан потенциальный метод расчета несущей способности колонн, учитывающий неравномерное распределение температуры в этой конструкции. Этот тип нагрева и возникающая вследствие этого неравномерная температура в сечении влияют на изменение параметров материала, таких как предел пластичности и модуль упругости в зависимости от положения в поперечном сечении. Учет фактической температуры в стальном элементе позволяет оценить перемещение колонны, возникающее под действием неравномерной температуры, которое в свою очередь влияет на величину внутренних сил и его несущую способность.
Железобетонные колонны. Описана основная классификация методов, которые содержатся в PN-EN 1992-1-2, с особым акцентом на их ограниченную область использования из-за: типа конструкции, длины элемента, толщины и величины нагрузки эксцентриситета. Проведен обзор методов, которые необходимо использовать при воздействии огня с менее чем четырех сторон. Был приближен метод, содержащийся в немецком приложении к DIN EN 1992-1-2, который позволяет рассчитать мощность консольных колонн, подвергаемых воздействию огня с одной, трех или четырех сторон. Приведена литература, которая указывает упрощенную методику расчета.
Заключение: Среди возможных решений этой проблемы можно выделить: размещение колонн вне противопожарной стены, проект соединения, позволяющего рухнуть конструкции крыши в глубь зала, не вызывая при этом чрезмерных горизонтальных сил, действующих на верхушку колонны или использование укрепления соседней конструкции для передачи горизонтальных сил. Однако из-за сложности более продвинутых методов, рекомендуется разработка методов, учитывающих неравномерность воздействия температуры в упрощенном порядке, на основе реальных случаев пожаров одноэтажных зданий.

Ключевые слова: огнестойкость, колонна подверженная воздействию огня, противопожарная стена, пожар, температура
Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Opisywana w artykule problematyka dotyczy odporności ogniowej stalowych i betonowych słupów (w tym także słupów wbudowanych w ściany oddzielenia przeciwpożarowego), które podczas pożaru nagrzewane są z mniej niż czterech stron. Takie warunki nagrzewania wiążą się z niejednakowymi temperaturami po różnych stronach słupa, prowadzącymi do powstawania przemieszczeń poziomych spowodowanych różnym wydłużeniem termicznym włókien po przeciwnych stronach tych konstrukcji (ang. *thermal bowing*).

Słupy wbudowane w ściany oddzielenia przeciwpożarowego muszą spełniać określone wymagania, które przedstawiono w tabeli 1. W odróżnieniu od elementów konstrukcji nośnej, muszą one dodatkowo spełniać kryteria szczelności (E) oraz izolacyjności (I).

Tabela 1. Wymagane klasy odporności ogniowej elementów budynku [1]
Table 1. Required fire resistance classes of selected building elements [1]

klasa odporności pożarowej fire resistance class	A	B	C	D	E
konstrukcja nośna /load-bearing structure	R 240	R 120	R 60	R 30	(-)
ściana oddzielenia pożarowego / fire wall	REI 240	REI 240	REI 120	REI 120	REI 60
konstrukcja dachu / roof structure	R 30	R 30	R 15	(-)	(-)

W rozdziale 2 poddano analizie słupy stalowe. Wskazano na prostą zależność, która pozwala oszacować przemieszczenia w słupie (bez uwzględnienia efektów drugiego rzędu) wywołane różnicą temperatur po obu jego stronach – nagrzewanej i nienagrzewanej. Przytoczono możliwe do zastosowania normowe procedury obliczeniowe [2-3]. Powołano się także na przedstawione w literaturze wyniki badań pomiarów temperatury oraz przemieszczeń dwuteowników wbudowanych w ściany.

W rozdziale 3 dokonano przeglądu norm oraz literatury pod kątem słupów żelbetowych poddanych oddziaływaniu wysokiej temperatury z mniej niż czterech stron.

W odniesieniu do nagrzewania według warunków standardowych (ISO) zmianę temperatury w czasie należy rozumieć jako zgodną z krzywą standardową, wyrażoną wzorem:

$$\theta_g = 20 + 345 \cdot \log_{10}(8 \cdot t + 1)$$

Gdzie: θ_g to temperatura gazów w stopniach Celsjusza, a t to czas oddziaływania w minutach.

2. Słupy stalowe

W słupach wbudowanych w ściany oddzielenia przeciwpożarowego pod wpływem pożaru dochodzi do nierównomiernego przebiegu temperatury w przekroju poprzecznym, który prowadzi do zjawiska wygięcia elementu. Schematycz-

nie przedstawiono je na ryc. 1. W prostych przypadkach przemieszczenia poziome wywołane tym zjawiskiem można opisać za pomocą wzoru:

$$D = \frac{\Delta\varepsilon_{th} \cdot l^2}{n \cdot d} \quad (2)$$

Gdzie:
$\Delta\varepsilon_{th}$ to różnica wydłużenia włókien od temperatury po obu stronach słupa stalowego,
l to długość słupa,
d odległość między skrajnymi włóknami (nagrzewanymi i nienagrzewanymi)
n to współczynnik przyjmujący wartość 2 dla słupów wspornikowych lub 8 dla słupów podpartych obustronnie przegubowo.

Wydłużenie stali według Eurokodów może być wyznaczane ze wzorów:

- dla temperatur od 20 do 750°C:

$$\varepsilon_{th}(\theta) = -2{,}416 \cdot 10^{-4} + 1{,}2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta + 0{,}4 \cdot 10^{-8} \cdot \theta^2$$

- dla temperatur od 750 do 860°C:

$$\varepsilon_{th}(\theta) = 11 \cdot 10^{-3}$$

- dla temperatur od 860 do 1200°C:

$$\varepsilon_{th}(\theta) = -6{,}2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot \theta$$

Przemieszczenie poziome na ryc. 1. obliczono przy założeniu braku obciążenia (brak efektów II rzędu) oraz liniowego przebiegu temperatury w przekroju. W przypadku słupów podpartych obustronnie przegubowo przemieszczenie dotyczy środka wysokości (l/2) słupa, natomiast w przypadku elementów wspornikowych – jego wolnego końca (l).

2.1. Aktualny stan normalizacji

Proste modele obliczeniowe zawarte w Eurokodzie 3 [2] pozwalają na obliczenie wartości temperatury elementów stalowych przy założeniu równomiernej temperatury w całym przekroju. Przykładowe wyniki obliczeń temperatury kształtownika HEA200 o różnej ekspozycji zestawiono na ryc. 2. O ile w przypadku nagrzewania elementu ze wszystkich stron wyniki są zbliżone do rzeczywistych, to w przypadku trzech stron założenie jednorodnej temperatury w całym przekroju nie jest precyzyjne. Eurokod 3 pozwala na uwzględnienie tego efektu w przypadku elementów zginanych poprzez zwiększenie obliczeniowej nośności przy zginaniu $M_{fi,t,Rd}$ przez zastosowanie współczynnika $1/\kappa_1$. Dla belki nieosłoniętej materiałami izolacji ogniochronnej, przylegającej do płyty stropowej (ryc. 2), $M_{fi,t,Rd}$ można zwiększyć o blisko 43%. (κ_1 = 0,7). Eurokod 4 [3] pozwala na obliczenie zróżnicowanej temperatury w elemencie przylegającym do stropu lub ściany wzdłuż jednej z krawędzi, co za tym idzie, także na dokładniejsze obliczenie nośności elementu. W efekcie obliczeń zgodnych z [3] otrzymuje się różne temperatury półki przylegającej do przegrody, środnika i półki od strony pomieszczenia.

Wzrost temperatury przedstawiony na ryc. 2 obliczono przy założeniu, że wskaźnik ekspozycji przekroju (A_m/V) wynosi:

$\frac{L}{A}$ w przypadku nagrzewania z 4 stron,

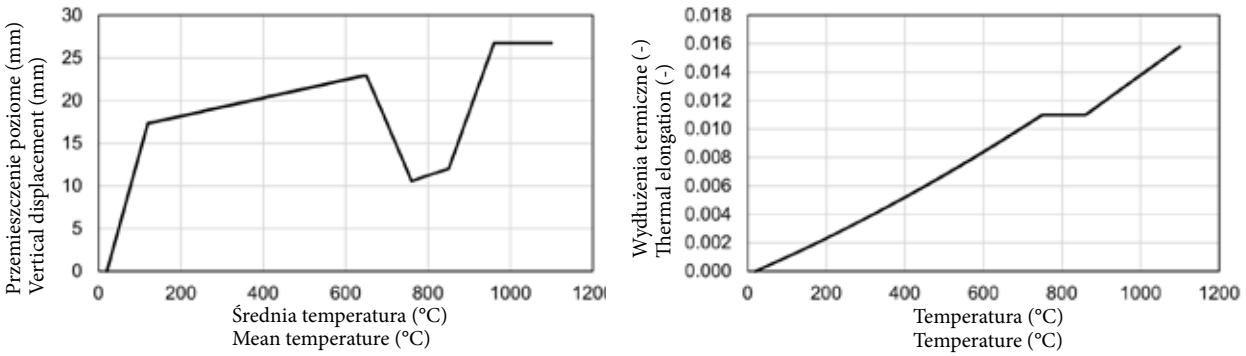
$\frac{L-b}{A}$ w przypadku nagrzewania z 3 stron,

$\frac{b+2t_f}{b \cdot t_f}$ w przypadku nagrzewania z 1 strony.

Gdzie:
L to obwód kształtownika,
A – pole,
b – szerokość stopki,
t_f – grubość stopki.

Jednocześnie dla nagrzewania z czterech lub trzech stron przyjęto współczynnik poprawkowy związany z efektem zacienienia k_{sh} = 0,9, podczas gdy w przypadku nagrzewania z jednej strony przyjęto k_{sh} = 1,0. Właściwości stali przyjęto zgodnie z [2], natomiast emisyjność stali przyjęto jako 0,8.

Model służący do obliczania temperatur elementów stalowych w normie Eurokod 3 [2] nie uwzględnia przepływu ciepła z elementu stalowego do przylegającej ściany lub stropu. Należy szczególnie mocno zaznaczyć, że wyniki dla jednostronnego nagrzewania będą prawidłowe jedynie dla odizolowanej z jednej strony półki kształtownika (lub dla odizolowanego z jednej strony płaskownika) – co efektywnie sprowadzi się do nagrzewania prostokątnego przekroju (półka kształtownika) z 3 stron. W związku z tym, że Eurokod nie uwzględnia przepływu ciepła ani do wnętrza ściany, ani do wbudowanej w ścianę części elementu, oparcie obliczeń temperatury całego kształtownika o obliczoną temperaturę półki prowadzi do znacznego przeszacowania temperatury (por. ryc. 2 i ryc. 3).

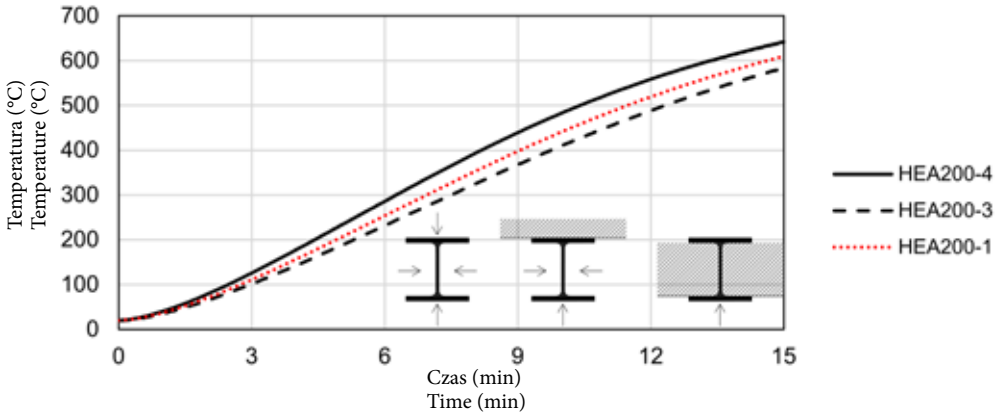


Ryc. 1. Przemieszczenie poziome słupa stalowego (zamocowanie obustronnie przegubowe, d = 168.3 mm, l = 3000 mm), pod wpływem różnicy temperatur z obu stron równej 200°C oraz funkcja wydłużenia termicznego stali [2]. Początek wykresu po lewej stronie wynika z założonego początkowego jednostronnego zwiększania temperatury z 20 do 220°C

Fig. 1. Horizontal displacement of steel column (simply supported, d = 168.3 mm, l = 3000 mm), caused by temperature difference on opposite sides equal to 200°C and function of thermal elongation of steel [2]. The beginning of the figure on the left is a result of assumed initial increase of temperature on one side only from 20 to 220°C

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.9



Ryc. 2. Wzrost temperatury przy założeniu nagrzewania według krzywej (1) kształtownika HEA 200 z czterech, trzech lub jednej strony, obliczenia według 2
Fig. 2. Temperature increase assuming HEB 200 profile is exposed to standard fire (1) on four, three or one side, calculations according to [2]
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

2.2. Wyniki badań z literatury

Wśród proponowanych w ostatnim czasie zmian warto podkreślić pracę doktorską i serię artykułów, które opracował A.M. Correia [4]. Badał on słupy stalowe wbudowane w ściany w różnych konfiguracjach (m.in. z pasami równolegle lub prostopadle do lica ściany). Jedną z istotniejszych prac w tym zakresie jest [5], w której autorzy przedstawiają wniosek, że określanie temperatury całego elementu na podstawie temperatury części nieosłoniętej prowadzi do nieekonomicznych rezultatów, natomiast przyjmowanie temperatury średniej jest niebezpieczne ze względu na pominięcie efektu wygięcia wywołanego temperaturą (ryc. 1.). Autorzy opracowali serię interakcji momentu zginającego i siły normalnej, a zaproponowana procedura ma szanse na uznanie jej jako obowiązującą przez Europejski Komitet Normalizacyjny i jej implementację w kolejnej generacji Eurokodów. Rycina 3 przedstawia wyniki pomiarów temperatury w przekroju poprzecznym kształtownika HEA 200 ze ścianą wbudowaną między półki, przy nagrzewaniu według krzywej standardowej. Różnica temperatur po obu stronach ściany po 60 minutach nagrzewania wynosi 600°C. W przypadku obliczeń dotyczących ściany oddzielenia pożarowego, należałoby uwzględnić także kryteria związane z izolacyjnością przegrody z wbudowanym w nią elementem stalowym. Potencjalnym problemem może być prawidłowe wypełnienie przestrzeni między murem a kształtownikiem.

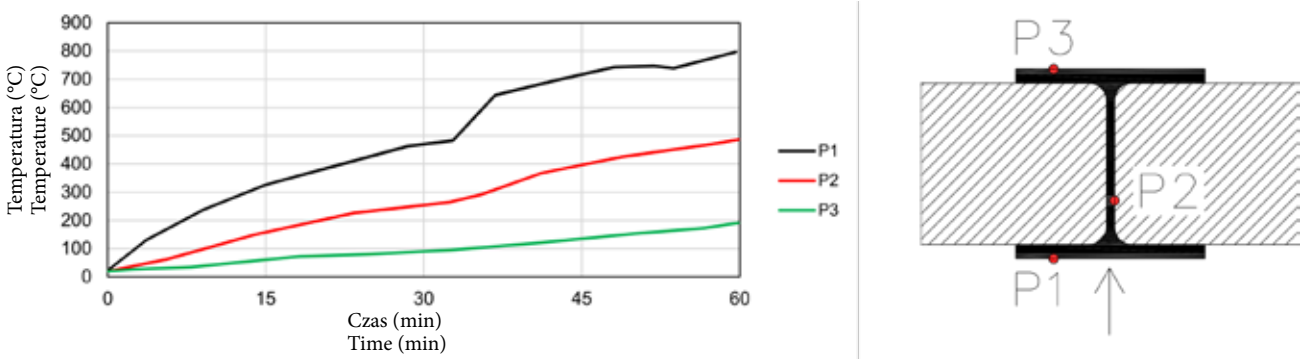
Do istotnych wniosków z pracy [4] należą:

- Eurokod bazuje na jednorodnej temperaturze w przekroju, a temperatura ta jest inna niż zaobserwowana w rzeczywistości,
- rzeczywisty rozkład temperatury jest nieliniowy, a co najważniejsze, występuje duża różnica między temperaturą półki narażonej bezpośrednio na działanie pożaru a półki po drugiej stronie ściany, którą przedstawiono na ryc. 3.

W pracach [4-5] rozpatrywano dwuteowniki o różnym usytuowaniu względem lica ściany. Przedstawiono tam praktyczne zalecenia dotyczące ustalania temperatury poszczególnych części przekroju oraz temperatury „zastępczej", na podstawie której można określić przybliżone diagramy interakcji M/N, pozwalające na określenie odporności ogniowej.

Zjawiska zachodzące w elementach poddanych nierównomiernemu nagrzewaniu, takie jak zmiana położenia efektywnego środka przekroju, czy też osi obrotu plastycznego opisano m.in. w [6] oraz [7]. W pracy [7] analizowany jest przypadek, w którym temperatura jest niejednorodna zarówno w przekroju słupa, jak i względem jego wysokości. W przypadku nierównomiernego nagrzewania parametry te zmieniają się wraz ze zmianą temperatury, z uwagi na zróżnicowaną w obrębie przekroju degradację parametrów materiałowych, takich jak granica plastyczności, czy moduł Younga [8].

Dodatkowe informacje można znaleźć w raporcie RFCS [9]. Podano tam uproszczone procedury szacowania przemieszczeń i sił wewnętrznych w konstrukcji, gdy w jednej z naw ramy wielonawowej wystąpi pożar. Problem podzielono tam na dwa etapy:



Ryc. 3. Temperatury zmierzone w trzech punktach przekroju poprzecznego kształtownika stalowego wbudowanego w ścianę. Wyniki badań [4]
Fig. 3. Temperatures measured at three points of the steel cross-section embedded in wall. Test results [4]

- etap I: zmiana sił wewnętrznych i przemieszczenia spowodowane wydłużalnością termiczną,
- etap II: wyczerpanie nośności dźwigara: wyznaczenie sił poziomych oddziałujących na słupy na podstawie rozwiązania krzywej łańcuchowej.

3. Słupy żelbetowe

3.1. Przegląd metod sprawdzania odporności ogniowej w Eurokodzie 2

Norma PN-EN 1992-1-2 [10] zawiera szereg metod pozwalających na określenie, czy słup żelbetowy pod zadanym obciążeniem spełni wymagania określonej klasy odporności ogniowej. Metody zawarte w normie dzielą się na 3 kategorie:

1. metody tabelaryczne:
   a) metoda A,
   b) metoda B,
   c) metoda z załącznika C.
2. metody uproszczone:
   a) metoda z załącznika B.1 – izotermy 500°C,
   b) metoda z załącznika B.2 – strefowa,
   c) metoda z załącznika B.3 – oparta na oszacowaniu krzywizny.
3. metody zaawansowane – do których podano ogólne założenia, takie jak parametry materiałowe betonu i stali zbrojeniowej w podwyższonych temperaturach.

Metoda z załącznika C powstała na bazie B.3, natomiast metoda B – to jej uproszczona wersja. W tabeli 2 przedstawiono przegląd ograniczeń wymienionych wyżej metod tabelarycznych i uproszczonych.

3.1.1. Metody tabelaryczne

Używanie metod tabelarycznych wymaga minimalnego wysiłku projektanta, gdyż w założeniu same wyniki obliczeń nośności konstrukcji w trwałych i przejściowych sytuacjach obliczeniowych (STR i EQU) powinny pozwolić na określenie, czy dany element konstrukcji spełnia wymagania założonej standardowej odporności ogniowej (R). Zazwyczaj sprowadza się to do sprawdzenia, czy wymiary przekroju i odległości osiowe głównych prętów zbrojenia są nie mniejsze niż wymagane.

Podczas stosowania metod tabelarycznych dotyczących słupów żelbetowych, należy mieć na uwadze szereg ograniczeń (tabela 2). Przede wszystkim ich stosowanie jest dopuszczalne tylko w przypadku pożarów standardowych. Ponadto w punkcie 5.3.1 normy [10]: w uwadze znajduje się zapis „Dane tabelaryczne dotyczą jedynie konstrukcji usztywnionych. Dane tabelaryczne przeznaczone dla konstrukcji nieusztywnionych można podać w Załączniku krajowym". Jest to bardzo istotny i zbyt często pomijany wymóg. We wszystkich metodach, poza B.1 i B.2, podano wprost, że można je stosować tylko w przypadku konstrukcji usztywnionych [ang. *braced*]. W normie PN-EN 1994-1-2 podano następującą definicję ramy stężonej: „rama wykazująca odporność na przechył dzięki systemowi stężeń, który jest wystarczająco sztywny, aby z wystarczającą dokładnością móc założyć, ze wszystkie siły poziome zostaną przeniesione przez system stężeń".

W przypadku wykorzystywania metod tabelarycznych, zawierających ograniczenie mimośrodu pierwszego rzędu *e*, należy pamiętać, że efekty pierwszego rzędu są obliczane z uwzględnieniem imperfekcji geometrycznych. Z kolei na korzyść projektanta mogą działać współczynniki ψ, wykorzystywane do obliczania kombinacji oddziaływań. Na wartości obliczeniowe oddziaływań w wyjątkowych sytuacjach obliczeniowych (m.in. pożar), według [12] składają się: oddziaływania stałe, wiodące oddziaływanie wyjątkowe oraz towarzyszące oddziaływania zmienne: jedno *główne* i *pozostałe*. W wyjątkowych sytuacjach obliczeniowych obciążeniem wiodącym jest temperatura, spośród towarzyszących *główne* oblicza się ze współczynnikiem $\psi_{1,1}$ (wartość częsta), natomiast *pozostałe* ze współczynnikiem $\psi_{2,1}$ (wartość qu-

Tabela 2. Ograniczenia stosowania metod obliczania słupów w Eurokodzie 2 [10]
Table 2. Limitations of using the calculation methods of columns in Eurocode 2 [10]

Limit:	**Metody tabelaryczne Tabular methods**			**Metody uproszczone Simplified methods**		
	A	**B**	**Annex C**	**B.1 izotermy 500°C / isotherm 500°C**	**B.2 strefowa / zone**	**B.3 oszacowania krzywizny / estimation of curvature**
max	3 m (tabela/table) 6 m (wzór/ formula)	-	-	-	-	-
	-	30	80	-	-	-
e	(PN/NA)	max (0,25b; 200 mm)	max (0,5b; 200 mm)	-	-	-
Krzywa/ Curve	ISO	ISO	ISO	ISO lub PRM jeżeli	dowolna krzywa pożaru rozwiniętego (zmiana)	ISO, PRM

Oznaczenia: ISO – krzywa standardowa / standard temperature-time curve (1), PRM – krzywa parametryczna / parametric curve, $l_{0,fi}$ – efektywna długość słupa w warunkach pożarowych / effective length of the column under fire conditions, $\lambda_{fi} = l_{o,fi}/i$ – smukłość słupa w warunkach pożarowych / slenderness of the column under fire conditions, *e* – mimośród pierwszego rzędu w warunkach pożarowych / first order eccentricity under fire conditions, *b* i *h* – wymiary poprzeczne przekroju / dimensions of cross-section, O – współczynnik otworów określony przez EN 1991-1-2, załącznik A / opening factor according to EN 1991-1-2, Annex A.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.9

asi-stała). W przypadku obciążenia wiatrem wartości tych współczynników wynoszą odpowiednio 0,2 oraz 0, co wiąże się z istotną redukcją obciążeń poziomych oddziałujących na konstrukcję w porównaniu do trwałej i przejściowej sytuacji obliczeniowej. Wartości te bazują na częstości występowania danych obciążeń. Wyniki badań w postaci histogramów prędkości wiatru i ciężaru pokrywy śnieżnej na terenie Polski można znaleźć w pracy [11]. Autor tej pracy podaje, że w latach 1976-80 prędkość wiatru w 95% pomiarów nie przekraczała 8 m/s (obecnie w strefie 2, na większości terenu Polski, przyjmuje się wartość podstawowej bazowej prędkości wiatru równą 26 m/s). Z kolei w przypadku obciążenia śniegiem ciężar pokrywy w 93% pomiarów nie przekraczał 0,1 kN/m^2, podczas gdy obecnie na terenie kraju, poza obszarem Tatr wartość charakterystyczna obciążenia śniegiem gruntu wynosi od 0,7 do 1,6 kN/m^2. Na podstawie tego typu danych określono wartości współczynników ψ_1 oraz ψ_2 w normie [12]. Zasady ich wyznaczania można znaleźć m.in. w pracy [13].

3.1.2. Metody uproszczone

Metody uproszczone można stosować w przypadku nagrzewania z mniej niż czterech stron, ale wymaga to uwzględnienia przemieszczeń od temperatury (*thermal bowing*). Stosowanie metod uproszczonych sprowadza się do obliczenia temperatur wewnątrz przekroju i stosowania „konwencjonalnych metod obliczeniowych" do wyznaczania nośności, uwzględniając np. wielkość przekroju zredukowanego i obniżone parametry materiałowe stali zbrojeniowej. Dotychczas w polskiej literaturze brakuje niestety istotnych odniesień do metod, które pozwoliłyby na przeprowadzanie obliczeń w prosty sposób. W przypadku metody B.2 (strefowej) w normie pojawia się pewna nieścisłość, mianowicie w punkcie 4.2.1 Uwaga 1 podano: „Metodę B.1 można stosować zarówno do warunków pożaru standardowego, jak i parametrycznego. Metodę B.2 zaleca się stosować w odniesieniu do małych przekrojów i smukłych słupów, przy czym obowiązuje ona tylko dla pożarów standardowych". Natomiast w załączniku informacyjnym B, w punkcie B.2(1) podano „Metodę strefową można stosować dla dowolnej krzywej pożaru rozwiniętego, jakkolwiek dane w niniejszej normie odnoszą się tylko do pożaru standardowego" (zmiana na mocy PN-EN 1992-1-2:2008/AC).

3.2. Nagrzewanie z mniej niż czterech stron

3.2.1. Eurokod 1992-1-2

Spośród metod tabelarycznych tylko w metodzie A zawarte są wymogi dla słupów poddanych działaniu ognia z jednej strony, przy czym zakres jej stosowania (tabela 2) w wielu przypadkach nie pozwala na jej efektywne stosowanie. W metodzie A (tabela 3) podano minimalne szerokości słupa i odległości osiowej zbrojenia dla warunków nagrzewania:

- z jednej strony, przy $\mu_{fi} = 0{,}7$,
- z więcej niż jednej strony, przy $\mu_{fi} = 0{,}2$; 0,5 lub 0,7.

Gdzie: μ_{fi} jest stosunkiem obliczeniowego obciążenia osiowego w sytuacji normalnej do obliczeniowej nośności słupa w warunkach temperatury normalnej.

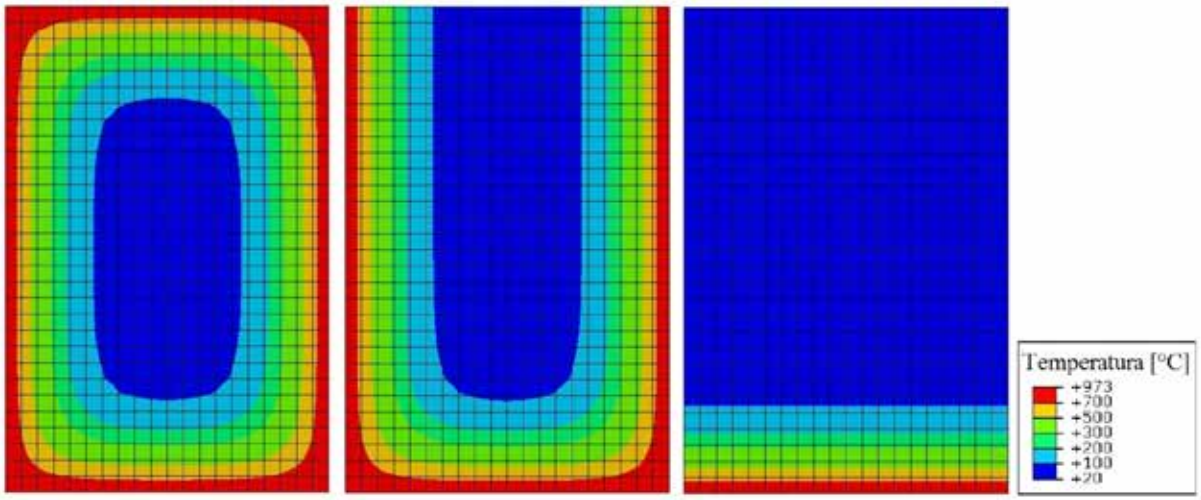
Warto w tym miejscu zaznaczyć, że tabela 3 pojawiła się w innej wersji w prenormie ENV 1992-1-2. Jej centralna część opisana jako „Słupy nagrzewane z więcej niż jednej strony" została zmieniona m.in. po krytyce ze strony Franssena [14], który podnosi też problem niedostępności uzasadnień niektórych metod przyjętych w Eurokodach (tak było w przypadku pierwotnej wersji metody A w ENV). Autorom nie udało się dotrzeć do źródła części zatytułowanej „Nagrzewane z jednej strony", w którym zaprezentowane byłyby wyniki porównania zaproponowanej metody i testów laboratoryjnych lub obliczeń. Metoda A została opracowana na podstawie wyników 88 testów odporności ogniowej słupów żelbetowych, przeprowadzonych w Brunszwiku, Ottawie, Gandawie oraz Liege w latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Ma ona charakter *best fit equation* – równania będącego najlepszym dopasowaniem, stąd ograniczenie do domeny walidacyjnej z testów laboratoryjnych, m.in. w postaci maksymalnego mimośrodu obciążenia. We wzorze wchodzącym w skład metody A nie podano sposobu uwzględnienia jednostronnego nagrzewania.

Metoda B nie rozróżnia między nagrzewaniem z jednej lub więcej stron, z kolei dane zawarte w załączniku C przewidziane są tylko dla słupów nagrzewanych z więcej niż jednej strony.

Temperatury w przykładowym przekroju betonowym o wymiarach 60 x 40 cm, poddanym działaniu wysokiej temperatury przez 120 minut, podano na ryc. 4. Do obliczeń przejęto właściwości materiałowe zgodne z [10]: ciepło właściwe, gęstość i przewodność cieplną. Wzrost tempera-

Tabela 3. Minimalne wymiary i odległości osiowe dla słupów prostokątnych, metoda A [10]
Table 3. Minimum column dimensions and axis distances for rectangular columns, method A [10]

Standardowa odporność ogniowa / Standard fire resistance	**Minimalne wymiary (mm) Szerokość słupa b_{min} / odległość osiowa *a* głównych prętów / Minimum dimensions (mm) Column width b_{min} / axis distance *a* of the main bars**			
	Słupy nagrzewane z więcej niż jednej strony / Column exposed on more than one side			**Nagrzewane z jednej strony / Exposed on one side**
	$\mu_{fi} = 0.2$	**$\mu_{fi} = 0.5$**	**$\mu_{fi} = 0.7$**	**$\mu_{fi} = 0.7$**
R30	200/25	200/25	200/32 300/27	155/25
R60	200/25	200/36 300/31	250/46 350/40	155/25
R90	200/31 300/25	300/45 400/38	350/53 450/40**	155/25
R120	250/40 350/35	350/45** 450/40**	350/57** 450/51**	175/35
R180	350/45**	350/63**	450/70**	230/55
R240	350/61**	450/75**	-	295/70
**Minimum 8 prętów / Minimum 8 bars				



Ryc. 4. Temperatury w przekroju słupa po dwóch godzinach nagrzewania według krzywej standardowej (1). Słup poddany działaniu ognia z czterech, trzech oraz jednej strony
Fig. 4. Temperatures inside column cross-section after 2 hours of heating according to standard curve (1). Column exposed to fire on four, three and one side
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

tury przyjęto zgodny z krzywą standardową (1), przy czym w pierwszym przypadku jest to oddziaływanie ze wszystkich stron, a w kolejnych odpowiednio z trzech (boki i dół na ryc. 4) oraz jednego (dół na ryc. 4). Powierzchnie nienagrzewane przyjęto jako idealnie zaizolowane.

3.2.2. Niemiecki załącznik krajowy DIN EN 1992-1-2/NA

W kontekście smukłych słupów poddanych nierównomiernemu nagrzewaniu, interesującą metodą jest zawarta w niemieckim załączniku krajowym DIN-EN 1992-1-2/NA:2010-12 Vereinfachtes Verfahren zum Nachweis der Feuerwiderstandsklasse R 90 von Stahlbeton-Kragstuetzen aus Normalbeton – uproszczona metoda sprawdzenia klasy odporności ogniowej R90 żelbetowych słupów wspornikowych z betonów normalnej wytrzymałości. Umieszczono tam serię nomogramów, na podstawie których można oszacować m. in. maksymalną siłę normalną, którą przeniesie słup po 90 minutach. Metoda została opracowana z myślą o obliczaniu żelbetowych słupów wspornikowych. Dopuszcza ona również obliczenia dla słupów o innych schematach statycznych, nagrzewanych z czterech, trzech lub z jednej strony. Jej istotną wadą, z perspektywy polskich przepisów, jest jej ograniczenie do klasy R 90.

Opisywana metoda podaje dwa warunki:

- Siła oddziaływania w warunkach pożaru musi być nie większa niż nośność słupa ;
- Moment zginający powstający w warunkach pożaru w przekroju utwierdzenia musi być możliwy do przeniesienia przez fundament.

Norma [15] zawiera nomogramy służące do odczytania nośności oraz momentu zginającego w słupach o wysokościach przekroju h = {300 mm, 450 mm, 600 mm, 800 mm}. Każdy z nomogramów został opracowany przy założeniu:

- czterostronnego nagrzewania,
- stosunku odległości osiowej zbrojenia do wysokości przekroju a/h=0,10,
- betonu klasy C30/37,
- stali zbrojeniowej B500, przy geometrycznym stopniu zbrojenia .

Po wyznaczeniu pożądanych wartości z nomogramów, można je modyfikować za pomocą odpowiednich współczynników. Dzięki temu uzyskuje się zakres stosowania podany w tabeli 4, wykraczający poza wymienione wyżej założenia. W porównaniu do metod opisanych w [10] ograniczenia są znacznie mniej restrykcyjne, przede wszystkim dotyczy to smukłości słupów, mimośrodu obciążenia oraz możliwości stosowania w konstrukcjach nieusztywnionych. Na ryc. 5 przedstawiono mnożnik k_{fi} obliczony według [15], zmieniający nośność przekroju w zależności od warunków nagrzewania (1 lub 3 strony), wysokości przekroju oraz mimośrodu obciążenia odniesionego do wysokości przekroju. Bazowa nośność odczytana z nomogramu dla nagrzewania z czterech stron, może być przemnożona przez współczynnik k_{fi} w celu określenia nośności dla innych warunków nagrzewania. Jak widać, według tej metody w przypadku jednostronnego nagrzewania, przy wysokości przekroju do 450 mm, nośność elementu nagrzewanego z jednej strony jest większa niż nagrzewanego ze wszystkich stron. Z kolei w przypadku nagrzewania z trzech stron, nośność jest zredukowana od 20 do 40 % (k_{fi} = 0,6-0,8), zależnie od mimośrodu.

3.2.3. Wyniki badań z literatury

Prawdopodobnie jedyną pracą traktującą o słupach żelbetowych nagrzewanych z trzech stron jest [16]. W pracy zaprezentowano wyniki badań eksperymentalnych słupów o wymiarach 20 x 20 x 200 cm, nagrzewanych z trzech stron.

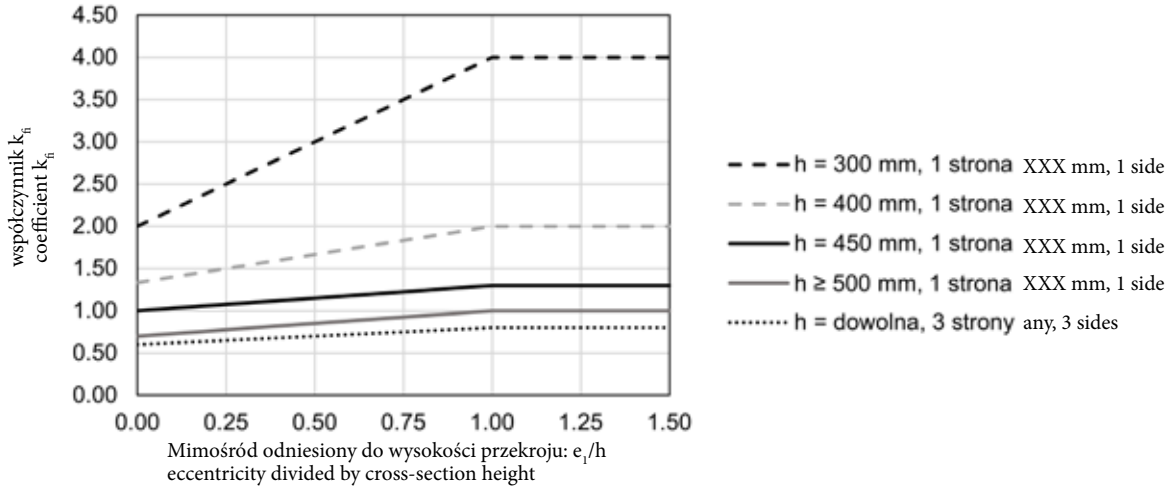
Spośród prac poświęconych obliczaniu czasu odporności ogniowej słupów można wyróżnić [17-18]. W pracy [17] autorzy użyli oprogramowania SAFIR, celem opracowania uproszczonej metody obliczeniowej. Z kolei autorzy pracy [18] bazowali na własnym oprogramowaniu, a w podsumowaniu stwierdzają, że czas odporności ogniowej typowych słupów żelbetowych jest mniejszy o 15, 40 i 10% w porównaniu do elementów nagrzewanych ze wszystkich stron, odpowiednio dla nagrzewania z trzech, dwóch (sąsiednich) lub jednej strony. Są to wnioski różniące się od tych, które opisano w rozdziale 3.2.2, co dowodzi, że temat jest wciąż nierozpoznany.

Przytoczone prace zawierają odniesienia do wyników badań słupów nagrzewanych ze wszystkich stron, ale brak w nich walidacji opracowanych modeli na podstawie testów elementów nagrzewanych z mniej niż czterech stron, np. podanych przez [16]. Korzystne mogłoby być odniesienie do wyników badań żelbetowych ścian, np. [19]. Na uwagę zasługuje praca [20], która podaje porównanie zaproponowanej metody obliczeń słupów żelbetowych z wynikami testów słupów nagrzewanych z trzech stron w [16].

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.9

Tabela 4. Zakres stosowania metody w DIN/NA [15]
Table 4. Application range of the method provided by DIN/NA [15]

Beton / Concrete	na kruszywie krzemianowym klasy C20/25 do C50/60 / siliceous, C20/25 – C50/60
Zbrojenie / Reinforcement	jednowarstwowe walcowane na gorąco B500, klasa N / single layer, B500, class N
Długość wyboczeniowa odniesiona do wysokości przekroju / Buckling length to h ratio	warunek odpowiada smukłości w zakresie / slenderness between:
Mimośród obciążenia odniesiony do wysokości przekroju / Load eccentricity to h ratio	gdzie / where
Minimalny wymiar przekroju [mm] / minimum cross-section dimension [mm]	
Stopień zbrojenia / Geometrical reinforcement ratio (A_s/A_c) [%]	
Położenie zbrojenia odniesione do wysokości przekroju / Axis distance to h ratio	
Oznaczenia: $l_{0,fi}$ – efektywna długość słupa w warunkach pożarowych / effective length of the column under fire conditions, h – wysokość przekroju słupa / height of the cross-section, e_0 – mimośród obciążenia / load eccentricity, e_i – mimośród odzwierciedlający imperfekcję według punktu 5.2 normy [10] / eccentricity according to 5.2 [10], a – odległość osiowa zbrojenia / axis distance of the main bars.	



Ryc. 5. Mnożnik zmieniający nośność przekroju w zależności od warunków nagrzewania (1 lub 3 strony), obliczony według [15]
Fig. 5. Coefficient for determining load-bearing capacity under different fire exposures: three- or one-sided, calculated according to [15]
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

4. Dyskusja

Istnieje wiele prac dotyczących nierównomiernie nagrzewanych elementów stalowych – zarówno rozpatrujących to zagadnienie w sposób eksperymentalny [4], jak i teoretyczny [6,-7]. Część z nich dotyczy słupów, w których nierównomierny rozkład temperatury jest wynikiem umieszczenia słupa w ścianie [4], inne dotyczą przypadków, w których słupy nie są w całości ogarnięte pożarem [7-8]. Niemniej oba wymienione kierunki prac wiążą się z rozpatrywaniem podobnych efektów w obrębie elementu konstrukcji (przy pominięciu zagadnienia współpracy mechanicznej ściany ze słupem).

W przypadku słupów żelbetowych wnioski płynące z różnych prac są często sprzeczne. Dla jednostronnego nagrzewania Eurokod 2 podaje znacząco mniejsze wymagania, niż w przypadku nagrzewania z więcej niż jednej strony (tabela 3). Według niemieckiego załącznika krajowego, w przypadku przekrojów o wysokości od 300 do 450 mm, nagrzewanych z jednej strony, nośność będzie większa niż w przypadku równomiernego nagrzewania z czterech stron. Przy nagrzewaniu z trzech stron – redukcja nośności w odniesieniu do takiego samego elementu, ale nagrzewanego ze wszystkich stron, wyniesie od 20 do 40% (ryc. 5). Z kolei według pracy [18], czas odporności ogniowej typowych słupów żelbetowych jest mniejszy o 15, 40 i 10 % w porównaniu do elementów nagrzewanych ze wszystkich stron, odpowiednio dla nagrzewania z trzech, dwóch (sąsiednich) lub jednej strony. Bez przeprowadzenia szczegółowych obliczeń niemożliwe jest ilościowe porównanie tych wartości ze względu na użyte w nich dwie różne charakterystyki: nośność w przypadku [15] i czas odporności ogniowej w [18]. Brak spójności nawet kierunku zmian (pogarsza/polepsza) w przypadku nagrzewania jednostronnego jest zastanawiający. Wykorzystanie licznych wyników badań ścian żelbetowych, m.in. [19], byłoby korzystne w celu opracowania bardziej ogólnych wniosków.

Spośród potencjalnych rozwiązań problemu można wyróżnić:

- umieszczenie słupów poza ścianą oddzielenia pożarowego,
- zaprojektowanie połączenia pozwalającego na zawalenie się konstrukcji dachu do wnętrza hali, bez wywoływania nadmiernych sił poziomych oddziałujących na głowicę słupa,
- wykorzystanie usztywnienia przylegającej konstrukcji do przeniesienia sił poziomych.

Praktyczne wytyczne dotyczące pierwszej metody podano m.in. w pracy [21]. Drugi przypadek jest o tyle skomplikowany, że połączenie musi zapewnić przeniesienie obciążeń w warunkach normalnych, a jednocześnie zsunięcie się konstrukcji dachu do wnętrza hali nie może pociągać za sobą uszkodzeń ściany oddzielenia przeciwpożarowego i przylegającej z drugiej strony konstrukcji. Tego rodzaju połączenie musi być w stanie przenieść ewentualne obciążenie od ssania wiatru oraz w jak najmniejszym stopniu przyczyniać się do powstawania sił poziomych w poziomie głowicy słupa, które mogą być spowodowane m.in. ścinaniem śrub lub tarciem. Zarówno słup, jak i stopa fundamentowa powinny być w stanie przenieść dodatkowy moment zginający od siły poziomej, powstającej przy zsuwaniu się dźwigara. W przypadku trzecim należałoby przeprowadzić analizę współpracy dwóch części hali i ocenić możliwość przeniesienia siły poziomej przez większą liczbę elementów. Przy projektowaniu połączenia na zniszczenie w warunkach pożarowych nie należy używać charakterystycznej granicy plastyczności, ale granicy wytrzymałości na rozciąganie – istotą jest określenie maksymalnej siły, jaką może wywołać zniszczony dźwigar.

W przypadku konstrukcji żelbetowych warto opracować wytyczne na bazie doświadczeń z rzeczywistymi pożarami oddziałującymi na konstrukcje, które pozwoliłyby na zwiększenie zakresu stosowania najprostszych metod.

5. Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono problemy związane z odpornością ogniową słupów stalowych i żelbetowych nagrzewanych z mniej niż czterech stron (w tym także słupów wbudowanych w ściany oddzielenia przeciwpożarowego). Niesymetryczne nagrzewanie wiąże się ze zróżnicowanymi temperaturami po obu stronach słupa, które prowadzą do powstawania przemieszczeń poziomych, które wywołują dodatkowe siły wewnętrzne zarówno w samym słupie (moment zginający), jak i w przylegającej konstrukcji. W artykule przybliżono potencjalne metody obliczeń słupów stalowych i żelbetowych z norm i literatury, wraz z uwzględnieniem ich istotnych ograniczeń.

Zgodnie z normami i [22] w projektowaniu wyróżnia się dwa główne nurty:

1. Reguły nakazowe (*prescriptive approach*) – spełnienie wymagań opisowych, niewymagających obliczeń konstrukcji: odległość od granicy działki, zachowanie odpowiedniego otulenia prętów zbrojeniowych, etc.
2. Ocena na podstawie właściwości użytkowych (*performance -based approach*). Z uwagi na ich skomplikowanie, w przypadku narzucenia powszechnego obowiązku korzystania z nich, należy liczyć się z brakiem ich respektowania – ma to miejsce obecnie w przypadku stosowania tabelarycznych metod A i B, gdzie ograniczenia zawarte w tabeli 2 są nader często pomijane. Wynika to głównie z niewystarczająco klarownego opisu metod uproszczonych i zaawansowanych.

Byłoby wskazane opracowanie metod uwzględniania nierównomiernego nagrzewania w sposób uproszczony, na bazie faktycznych pożarów, m.in. hal jednokondygnacyjnych. Innym rozwiązaniem byłoby opracowanie wzorem Niemiec, metod pozwalających na obliczenie nośności słupów przy większym zakresie stosowania, niż przewidziany w PN-EN 1992-1-2.

Literatura

[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] PN-EN 1993-1-2: 2007 Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
[3] PN-EN 1994-1-2:2008 Eurokod 4. Projektowanie zespolonych konstrukcji stalowo-betonowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
[4] Correia, A.J.P.M., *Fire resistance of steel and composite steel-concrete columns*, PhD thesis, Coimbra 2011.
[5] Correia A.J.P.M., Rodrigues J.P.C., Vila Real P., *Thermal bowing on steel columns embedded on walls under fire conditions*, "Fire Safety Journal" 2014, 67, 53-69.
[6] Garlock M.E.M., Quiel S.E., *Mechanics of Wide-flanged Steel Sections that Develop Thermal Gradients Due to Fire Exposure*, "Steel Structures" 2007, 7, 153-162.
[7] Lange D., Sjostrom J., *Mechanical response of a partially restrained column exposed to localised fires*, "Fire Safety Journal" 2014, 67, 82-95.
[8] Biskupska N., Szymkuć W., *Towards the simplified modelling of thermal and mechanical response of steel tubular columns exposed to localized fire*, 12th International Conference "Modern Building Materials, Structures and Techniques", 2016. Artykuł przyjęty do publikacji w "Procedia Engineering".
[9] Obiala R., Vassart O., Zhao B.,. Sakji M.S, de la Quintana J., Morente F., Franssen J.-M., Lansival J.-B., Fire safety of industrial halls – A valorisation project, Research Fund for Coal and Steel, Final report RFS2-CT-2007-00032, 2010.
[10] PN-EN 1992-1-2:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.
[11] Kosiorek M., *Parametry materiałowe i obciążenia przy określaniu odporności ogniowej*, „Prace Instytutu Techniki Budowlanej" 1988, 4 (68), 5-13.
[12] PN-EN 1990:2004 Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji.
[13] Probabilistic Model Code, 12th draft, Joint Committee on Structural Safety, 2001.
[14] Franssen J-M., *Design of concrete columns based on EC2 tabulated data - a critical review*, First International Workshop Structures in Fire, Copenhagen, 2000.
[15] DIN EN 1992-1-2/NA:2010-12 Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter - Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken - Teil 1-2: Allgemeine Regeln - Tragwerksbemessung für den Brandfall.
[16] Haksaver A., Anderberg Y., *Comparison between measured and computed structural response of some reinforced concrete columns in fire*, "Fire Safety Journal" 1981, 4(82), 293-297.
[17] Tao K.H., Yao Y., *Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns Subjected to 1-, 2-, and 3-Face Heating*, "Journal of Structural Engineering" 2004, 130, 1820-1828.
[18] Kodur V., Raut N., *A simplified approach for predicting fire resistance of reinforced concrete columns under biaxial bending, Engineering Structures*, 2012, 41, 428–443.
[19] Crozier D.A., Sanjayan J.G., *Tests of load-bearing slender reinforced concrete walls in fire*, "ACI Structural Journal" 2000, 97, 243-251.
[20] Achenbach M., Gernay T., Morgenthal G., *Fire Resistance of Reinforced Concrete Columns Subjected to Standard Fire – Comparison of an Advanced and a Simplified Method*, "Proceedings of the 9th International Conference on Structures in Fire (SiF 16)", 2016, Princeton University, NJ, USA
[21] NFPA 221: Standard for Fire Walls and Fire Barrier Walls. 2000 Edition, National Fire Protection Association.
[22] Kosiorek M., *Współczesne rozwiązania budynków a bezpieczeństwo pożarowe, Problemy naukowo-badawcze budownictwa* 49 Konf. Nauk. Komit. Inż. Ląd. i Wod. PAN i Komit. Nauki PZITB „Krynica 2003", Warszawa-Krynica, 14-19 września 2003, Tom I: Budynki użyteczności publicznej, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003, s. 75-91

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.9

* * *

mgr inż. Wojciech Szymkuć – asystent w Instytucie Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej. Studia magisterskie ukończył w 2013 roku, broniąc pracę magisterską przygotowaną podczas rocznego pobytu na Leibniz Universitaet Hannover. Odbywał staże w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej i na Michigan State University. Otwarty przewód doktorski: „Analysis of behaviour and residual capacity of fire-exposed concrete-filled tubular columns" (Analiza zachowania i nośność resztkowa zespolonych słupów z rur wypełnionych betonem poddanych działaniu ognia). Autor trzech poprawek do normy PN-EN 1992-1-2.

dr hab. inż. Adam Glema – profesor nadzwyczajny Politechniki Poznańskiej w Instytucie Konstrukcji Budowlanych. Absolwent Wydziału Budownictwa Lądowego Politechniki Poznańskiej w 1985 roku. Praca doktorska na temat wzmacniania i optymalizacji elementów prętowych w stanie utraty stateczności w 1992 roku. Rozprawa habilitacyjna na temat natury falowej zjawiska lokalizacji odkształceń plastycznych w warunkach oddziaływań impulsowych w 2004 roku. Obecny obszar edukacyjno-naukowy to inżynieria bezpieczeństwa obiektów budowlanych, w tym głównie odporności pożarowej oraz budownictwo cyfrowe (BIM).

mgr inż. Michał Malendowski – asystent w Instytucie Konstrukcji Budowlanych Politechniki Poznańskiej. Studia magisterskie ukończył z wyróżnieniem w 2011 roku broniąc pracę magisterską pisaną przy współpracy z firmami Ruukki oraz Techrom. Odbywał zagraniczne staże w jednostkach naukowo badawczych: Tampere University of Technology, Technical Research Centre of Finland, University of Sheffield oraz w dziale badań i rozwoju nowojorskiej firmy Weidlinger Associates INC. Kończy przygotowywanie pracy doktorskiej o tytule: „Performance-based fire engineering for structural design".

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 105–116

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.10

prof. dr hab. inż. **Sławczo Denczew**[1]
mgr inż. **Grzegorz Serejko**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Analiza porównawcza metod eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych [3]

Comparative Analysis of the Methods of Using Fixed Water Firefighting Equipment

Сравнительный анализ методов эксплуатации автоматических установок водяного пожаротушения

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu było porównanie aktualnie istniejących metod eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych wbudowanych w wielkopowierzchniowe obiekty budowlane oraz wyszukanie między nimi różnic mogących wpływać na niezawodność działania tych urządzeń.
Metody: W artykule dokonano analizy porównawczej istniejących metod eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych według różnych wytycznych. Przedstawione tabelarycznie zakresy i terminy okresowych kontroli stanu technicznego wybranych elementów instalacji tryskaczowych pozwoliły wykazać różnice w przedstawionych metodach oraz ujawniły nieznaczne nieprawidłowości w prowadzeniu procesu eksploatacyjnego. Przeprowadzona w ten sposób analiza wskazała potrzebę opracowania nowych wytycznych, lepiej wpisujących się w polskie warunki eksploatacyjne stałych urządzeń gaśniczych wodnych. Stanowi ona podstawę do opracowania koncepcji metody eksploatacji tych urządzeń z uwzględnieniem m.in. wpływu jakości wody zasilającej te urządzenia.
Wyniki: Na podstawie zaprezentowanych tabelarycznych zestawień można łatwo zauważyć różnorodność stosowanych metod eksploatacji. Porównanie niektórych sposobów kontrolowania wybranych elementów systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego, jakim jest instalacja tryskaczowa, pozwala dostrzec zarówno podobieństwa pomiędzy zaprezentowanymi wytycznymi, jaki i wiele różnic. Kontrola wielu elementów instalacji tryskaczowej wg wytycznych zawartych w polskiej normie i wytycznych VdS 2212 realizowana jest w jednakowym zakresie i z taką samą częstotliwością. Jednakże wytyczne VdS są znacznie bardziej szczegółowe i szerszym zakresem obejmują większą liczbę kontrolowanych elementów, niekiedy w krótszym czasie. Całkiem odmienna sytuacja ma miejsce w przypadku wytycznych przedstawionych w NFPA 25 z roku 2014. Jest to jedyna metoda, która zakłada sprawdzenie stanu technicznego przewodów stałego urządzenia gaśniczego wodnego co pięć lat, łącznie ze sprawdzeniem ich przepustowości. Ponadto wytyczne NFPA 25 uwzględniają znacznie dłuższy czas eksploatacji tego rodzaju zabezpieczenia.
Wnioski: Zaprezentowane metody eksploatacji stałych wodnych urządzeń gaśniczych mogą nie zapewnić utrzymania właściwego stanu technicznego przewodów instalacji tryskaczowej. Mimo że w wielu aspektach wskazują szczegółowy zakres kontroli elementów, jak najbardziej istotnych z punktu widzenia niezawodności działania, to niestety pomijają wpływ jakości wody zasilającej na przewody i armaturę stałych urządzeń gaśniczych wodnych. W związku z tym niezbędne jest opracowanie nowej metody eksploatacji tego rodzaju urządzeń przeciwpożarowych, która będzie możliwie prosta, a jednocześnie będzie uwzględniała zmienną jakość wody zasilającej urządzenia tryskaczowe i jej wpływ na stan techniczny przewodów.

Słowa kluczowe: instalacja tryskaczowa, eksploatacja, metoda eksploatacji
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The aim of the article was to compare the currently existing methods of using fixed water firefighting equipment installed in large-format commercial buildings. Moreover, the aim was to find specific differences in existing methods that may affect the reliability of this equipment.
Methods: In the article a comparative analysis was carried out of the methods of using fixed water firefighting equipment according to different guidelines. The tabulated ranges and timing of periodic technical inspections of selected elements of a sprinkler system allowed to compare the differences in the present methods and revealed subtle irregularities in the operation process. This analysis also points to the fact that it is necessary to develop new guidelines, which would more efficiently reflect Polish operating conditions of ffixed water firefighting equipment. In other words, the presented analysis is the basis for developing a concept of the operation method of operation this equipment, taking into

[1] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service, slawczo@wp.pl;
[2] Politechnika Warszawska / Warsaw University of Technology, slawczo@wp.pl;
[3] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w przygotowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.10

account the impact of water quality supply in these devices.
Results: Based on the presented tabular summaries it is easy to see the diversity in the applied operation methods. While comparing the ways to control elements of the fire protection sprinkler system, it is possible to observe certain similarities between the presented guidelines, but also many differences. Many elements of the sprinkler system, according to the guidelines contained in the Polish Standard and VdS 2212, has a common term and scope of control. However, presented VdS guidelines are much more detailed and include a wider range of more controllable elements, sometimes in a shorter period of time. Quite a different situation can be observed in the case of guidelines outlined in NFPA 25, 2014. It is the only method that involves checking the technical condition of the inner conductors every five years, including a check of cable capacity of the fixed water firefighting equipment. In addition, NFPA 25 guidelines include a much longer operation period for this type of protection.
Conclusions: The presented operation methods of fixed water firefighting equipment might not provide proper maintenance of the technical state of a sprinkler system. Although in many respects the presented methods show a detailed scope of control of the elements, the most important from the point of view of operational reliability, unfortunately ignore the influence of the quality of water supply pipes and fittings for fixed water firefighting equipment. Therefore, it becomes necessary to develop a new method of operation of this type of fire protection equipment, where the operation will be as easy as possible, and at the same time it will take into account the variable quality of water supply for the sprinkler system and its impact on the technical condition of the pipes and fittings.

Key words: sprinkler system, operation, method of operation
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью этой статьи было сравнение существующих в настоящее время методов эксплуатации автоматических установок водяного пожаротушения, встроенных в крупные строительные объекты. Дополнительно, авторы сравнили методы эксплуатации этих устройств с целью выявления различий, которые могут влиять на их надежность.
Методы: В данной работе был проведен сравнительный анализ существующих методов эксплуатации автоматических установок водяного пожаротушения в соответствии с различными принципами. Указанные в таблицах диапазон и сроки проведения периодических проверок на пригодность к эксплуатации выбранных элементов спринклерной инсталляции помогли определить различия в существующих методах и выявить незначительные нарушения при проведении процесса эксплуатации. Проведенный таким образом анализ выявил необходимость разработки новых руководящих принципов, которые были бы в большей степени соответствовали польским условиям эксплуатации автоматических установок водяного пожаротушения. Он является основой для разработки концепции способа эксплуатации этих устройств, в том числе, с учетом влияния качества воды, которая снабжает эти устройства.
Результаты: На основании представленного в таблицах сравнения можно легко заметить, что методы эксплуатации очень разнообразные. Сравнение некоторых способов управления избранных элементов системы противопожарной защиты, которой является спринклерная система, позволяет как найти сходство между представленными руководящими принципами, так и много различий. Многие элементы спринклерной инсталляции в соответствии с руководящими принципами, содержащимися в польском стандарте и VdS 2212, подвергаются контролю в те же сроки и в такой же области. Тем не менее, директивы VdS являются гораздо более подробными и охватывают большее количество элементов иногда за меньшее время. Совсем иная ситуация в случае руководящих принципов, изложенных в NFPA 25 в 2014 г. Это единственный метод, который включает в себя проверку технического состояния внутренних труб каждые пять лет, включая проверку пропускной способности труб установок водяного пожаротушения. Кроме того, NFPA 25 включают гораздо более длительный срок эксплуатации этого оборудования.
Выводы: Представленные методы эксплуатации автоматических установок водяного пожаротушения могут не обеспечивать надлежащего технического состояния спринклерной системы. Хотя во многом они характеризуются детальным контролем элементов, наиболее важных с точки зрения эксплуатационной надежности систем, к сожалению, они игнорируют влияние качества воды, снабжаемой водопроводные трубы и арматуру стационарного противопожарного оборудования. Следовательно, необходимо разработать новый метод эксплуатации такого типа противопожарного оборудования, который будет довольно просты эксплуатации, но в то же время будет учитывать переменное качество воды, которая снабжает спринклеры, и ее влияние на техническое состояние труб.

Ключевые слова: спринклерная система, эксплуатация, метод эксплуатации
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Instalacje tryskaczowe, zraszaczowe oraz pianowe (lub ogólniej: stałe instalacje gaśnicze) cechują się wysoką skutecznością gaszenia pożarów, także w przypadku zagrożeń o dużym obciążeniu ogniowym [1]. Niezawodność działania stałych urządzeń gaśniczych wodnych szacuje się na blisko 89% [2]. W celu utrzymania możliwe najwyższego poziomu bezpieczeństwa przeciwpożarowego niezbędne jest wykonywanie szczegółowych kontroli stanu technicznego stałych urządzeń gaśniczych wbudowanych w budynki. Polskie prawo w artykułach 61 i 62 ustawy [3] nakłada na właściciela lub zarządcę obiektu budowlanego obowiązek prowadzenia kontroli stanu technicznego elementów budynku, budowli oraz instalacji narażonych na szkodliwe działanie czynników zewnętrznych. Pomimo że prawo budowlane nie definiuje bezpośrednio stałych urządzeń gaśniczych wodnych jako oddzielnych elementów budynku podlegającym kontroli, z pewnością można je zaliczyć do instalacji narażanych na niszczące działanie czynników w czasie eksploatacji obiektów budowlanych. Podczas użytkowania obiektu budowlanego stałe urządzenia gaśnicze wodne poddawane są działaniu wielu czynników, począwszy od zmian temperatury otoczenia aż po zmienną jakość wody zasilającej [4].

Stan techniczny oraz niezawodność prawidłowo zaprojektowanego stałego urządzenia gaśniczego wodnego zależy przede wszystkim od właściwej konserwacji. Rzetelnie przeprowadzane kontrole pozwolą na wydłużenie czasu eksploatacji tego rodzaju zabezpieczeń przeciwpożarowych obiektów budowlanych [5]. Według [5] w Polsce można spotkać się z przypadkami nierzetelności w prowadzeniu okresowych przeglądów (wypełnione na kilka tygodni lub miesięcy do przodu książki przeglądów instalacji), które z pewnością przyczyniają się do zmniejszenia niezawodności działania instalacji tryskaczowych.

2. Metodologia

W artykule dokonano analizy porównawczej metod prowadzenia kontroli stałych urządzeń gaśniczych wodnych. W tym celu sporządzono tabelaryczne zestawienie zapisów obecnie obowiązujących procedur prowadzenia kontroli we-

dług wytycznych NFPA25 z 2014 r., wzoru książki eksploatacji dla wodnych instalacji gaśniczych [VdS 2212pl: 2015-03(07)] oraz normy PN-EN 12845. Zestawiono procedury prowadzenia kontroli tygodniowych, miesięcznych oraz rutynowych kwartalnych, corocznych, oraz tych prowadzonych co trzy lata i co dziesięć lat. Ponadto wskazano obszary szczegółowej kontroli wybranych elementów instalacji tryskaczowej mogących podlegać niszczącemu działaniu korozyjnego środowiska wodnego. Zaprezentowana w niniejszym artykule analiza porównawcza jest elementem obecnie realizowanych badań mających na celu opracowanie koncepcji kompleksowej metody eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych ze szczególnym uwzględnieniem wpływu jakości wody zasilającej takie urządzenia.

3. Wyniki

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej i prowadzonych obecnie badań w zakresie eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych można stwierdzić, iż możliwe jest wyeliminowanie wychwyconych niedostatków w wyniku zastosowania kompleksowej metody ich eksploatacji uwzględniającej niezawodność działania urządzeń na etapie ich projektowania. Opis wybranych metod kontrolowania stanu technicznego komponentów oraz całego systemu stałego urządzenia gaśniczego wodnego wbudowanego w budynek przedstawiono w tabeli 1. Analizę porównawczą wykonano w oparciu o wytyczne zawarte w NFPA 25, wzorze książki eksploatacji dla wodnych instalacji gaśniczych (VdS 2212pl) oraz PN-EN 12845.

Tabela 1. Opis metod kontroli stanu technicznego stałych wodnych urządzeń tryskaczowych
Table 1. Description of the methods of control of the technical condition of fixed water firefighting equipment

Częstotliwość kontroli (Control frequency)	Element kontrolowany i opis działania wg (Controlled element and a description of the operation by)			
	PN-EN 12845:2004	VdS 2212pl*	NFPA 25	
			Inspekcja (Inspection)	Test (Test)
kontrola rutynowa dzienna w odstępie nie dłuższym niż 3 dni (daily control routine at an interval of no more than 3 days)		**Sprawdzenie i zarejestrowanie** a) stanu napełnienia zbiorników wody (zbiorniki zapasu, pośrednie, ziemne, grawitacyjne i zbiorniki zalewowe dla pomp b) stanu napełnienia hydroforów c) stanu napełnienia zbiorników paliwowych d) ciśnienia w hydroforach e) ciśnienia przed zaworami kontrolno-alarmowymi f) gotowości do pracy inst. grzewczych w centrali tryskaczy i w zasilaniu instalacji wodnych **Checking and registration** a) the state of filling water tanks (supply, indirect, ground, gravity reservoirs and reservoirs for floodplain pumps) b) filling level of hydrophores c) the state of filling of fuel tanks d) the pressure in the hydrophores e) the pressure in front of control-alarm valves f) readiness to operation of heating installations in sprinklers and water supply control room		
kontrola rutynowa tygodniowa w odstępie nie dłuższym niż 7 dni (daily control routine at an interval of no more than 7 days)	**Sprawdzenie i zarejestrowanie** a) wszystkich wartości na manometrach do wody i powietrza, zainstalowanych w sekcjach tryskaczowych, głównych przewodach zasilających i hydroforach; b) wszystkie poziomy wody w zbiornikach grawitacyjnych, rzekach, kanałach, jeziorach i zbiornikach zapasu (łącznie ze zbiornikami zalewowymi pomp i hydroforami); c) prawidłową pozycję pracy wszystkich głównych zaworów odcinających. **Checking and registration** a) all values on a pressure gauges for water and air, installed in sprinkler sections, on the main supply lines and hydrophores; b) all water levels in gravity reservoirs, rivers, canals, lakes and reserve reservoirs (including floodplain pumps and hydrophores); c) working position of all main shut-off valves.	**Sprawdzenie i zarejestrowanie** a) prawidłowej pozycji gotowości do pracy całej głównej armatury odcinającej b) poziomu wody w rzekach, kanałach i jeziorach mających wpływ na zasilanie wodą instalacji **Checking and registration** a) the correct position of readiness to work of all main shut-off valves b) the level of water in rivers, canals and lakes affecting the water supply system	**Manometry** Suchych, wstępnego działania i zalanych systemów **Manometers** Dry, pre-action and flooded systems	

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.10

Częstotliwość kontroli (Control frequency)	Element kontrolowany i opis działania wg (Controlled element and a description of the operation by)		NFPA 25	
	PN-EN 12845:2004	VdS 2212pl*	Inspekcja (Inspection)	Test (Test)
kontrola rutynowa tygodniowa w odstępie nie dłuższym niż 7 dni (weekly control routine with an interval of no more than 7 days)	**Badanie turbinowego urządzenia alarmowego** a) sprawdzenie zapasu paliwa i oleju silnikowego w silnikach wysokoprężnych; b) obniżenie ciśnienia wody w urządzeniu rozruchowym, tak aby nastąpiła symulacja automatycznego rozruchu; c) pomiar i rejestrację ciśnienia w momencie uruchomienia pomp; d) sprawdzenie ciśnienia oleju w silnikach wysokoprężnych pomp jak również przepływu wody chłodzącej w obiegu otwartym. **Examination of Water Motor Alarm** a) check the fuel supply and engine oil in diesel engines; b) reduce the water pressure in the boot device, in order to simulate an automatic start-up; c) measuring and recording of pressure at the start of pumps; d) checking the oil pressure in diesel engines, pumps and flow of cooling water in open circuit.	**Kontrola automatycznego rozruchu pomp** a) kontrola zapasu paliwa i poziomu oleju w silnikach wysokoprężnych b) wyzwolenie automatycznego rozruchu poprzez zmniejszenie ciśnienia wody w urządzeniu rozruchowym c) pomiar i zanotowanie ciśnienia rozruchu bezpośrednio po uruchomieniu pompy d) kontrola ciśnienia oleju, temperatury wody chłodzącej i ilości obrotów w silnikach wysokoprężnych i przepływu ilości cieczy chłodzącej w otwartym obiegu chłodniczym **Checking the automatic start of pumps** a) control of the reserve of fuel and oil levels in diesel engines b) triggering an automatic start-up by reducing the water pressure in the device boot c) measure and record values of pressure immediately after pumps start d) control oil pressure, cooling water temperature and the number of revolutions in the diesel engines and the flow of the coolant in the open cooling circuit		
kontrola rutynowa tygodniowa w odstępie nie dłuższym niż 7 dni (weekly control routine with an interval of no more than 7 days)	**Badanie możliwości ponownego rozruchu, w przypadku silników wysokoprężnych** a) silnik powinien pracować przez 20 min, lub czas zalecany przez dostawcę. Następnie silnik należy wyłączyć i natychmiast włączyć za pomocą ręcznego przycisku próbnego rozruchu b) należy sprawdzić poziom wody w obiegu pierwotnym układu chłodzącego, pracującego w obiegu zamkniętym Podczas badania należy kontrolować ciśnienie oleju (o ile jest to możliwe), temperaturę i przepływ wody chłodzącej. Należy sprawdzić węże olejowe i wykonać ogólne sprawdzenie pod kątem wycieków w układach paliwowych, chłodzących i wydechowych **Examination of the possibility of re-commissioning, in case of diesel engines** a) the engine must run for 20 minutes, or the time recommended by the supplier. Then turn off the engine and immediately turn on using a manually operated test run button b) check the level of water in the primary cooling system, working in a closed circuit During the test oil pressure, temperature and flow of cooling water should be monitored (if possible). Check the oil hoses and execute a general check for leaks in the fuel system, cooling and exhaust systems	**Badanie możliwości ponownego rozruchu, w przypadku silników wysokoprężnych** a) silnik powinien pracować przez czas zalecany przez dostawcę, co najmniej do osiągnięcia temperatury roboczej Następnie silnik należy wyłączyć i natychmiast włączyć za pomocą ręcznego przycisku próbnego rozruchu b) należy sprawdzić poziom wody w obiegu pierwotnym układu chłodzącego, pracującego w obiegu zamkniętym Podczas badania należy kontrolować ciśnienie oleju (o ile jest to możliwe), temperaturę i przepływ wody chłodzącej. Należy sprawdzić węże olejowe i ogólne sprawdzenie pod kątem wycieków w układach paliwowych, chłodzących i wydechowych **Examination of the possibility of re-commissioning, in case of diesel engines** a) the engine must run for 20 minutes, or the time recommended by the supplier. Then turn off the engine and immediately turn on using a manually operated test run button b) check the level of water in the primary cooling system, working in a closed circuit During the test oil pressure, temperature and flow of cooling water should be monitored (if possible). Check the oil hoses and execute a general check for leaks in the fuel system, cooling and exhaust systems		
kontrola rutynowa tygodniowa w odstępie nie dłuższym niż 7 dni (weekly control routine with an interval of no more than 7 days)	**Urządzenia grzewcze współbieżne i miejscowe** Urządzenia grzewcze, zapobiegające zmarznięciu urządzenia tryskaczowego, powinny być sprawdzone odnośnie prawidłowości ich działania **Concurrent and local heating devices** Heating and antifreeze sprinkler equipment should be checked regarding the correctness of their operation			

Częstotliwość kontroli (Control frequency)	Element kontrolowany i opis działania wg (Controlled element and a description of the operation by)		NFPA 25	
	PN-EN 12845:2004	VdS 2212pl*	Inspekcja (Inspection)	Test (Test)
kontrola miesięczna (monthly control)	**Akumulatory** Należy sprawdzić poziom elektrolitu i jego gęstość we wszystkich celach akumulatorów kwasowo-ołowiowych (łącznie z akumulatorami baterii rozruchowych silników wysokoprężnych i zasilania rozdzielni urządzenia pompowego **Batteries** Check the level and density of electrolyte in all lead-acid batteries (including rechargeable starting batteries for diesel engines and pump devices	**Sprawdzenie i zarejestrowanie** a) kontrola wzrokowa stanu sieci rur, tryskaczy, dysz i zawieszenia rur b) kontrola funkcjonowania automatycznych urządzeń napełniających dla zbiorników pośrednich, zbiorników zalewowych pomp i zbiorników grawitacyjnych, oraz przynależnych urządzeń płuczących w przewodzie doprowadzającym zasilanie w wodę pitną c) kontrola instalacji tryskaczowych z domieszaniem środka pianotwórczego d) kontrolę dozownika i jego armatury **Checking and registration** a) visual inspection of the condition of the network of pipes, sprinklers, nozzles and pipe suspensions b) control the operation of automatic filling machines for the intermediate tanks, reservoirs, flood pumps and gravity tanks and rinsing associated equipment in the supply line of drinking water c) control of sprinkler systems with admixing foam d) control of the dispenser and its fittings		
kontrola rutynowa w odstępie nie dłuższym niż 13 tygodni (kwartalna) (quarterly control routine with an interval of no more than 13 weeks)	**Sprawdzenie przestrzeni zagrożonych pożarem** Należy stwierdzić wpływ zmian konstrukcyjnych, dotyczących sposobu wykorzystania przestrzeni, układu składowania, urządzeń grzewczych, oświetleniowych lub wyposażenia budynku na kwalifikację do zagrożenia pożarowego lub projekt urządzenia tryskaczowego, tak aby możliwe były odpowiednie modyfikacje **Checking of area jeopardized by fire** It should be noted the impact of design changes relating to use of area, system of storage, heating, lighting or equipment installed in building on qualification for fire or project of sprinkler system, to allow appropriate modifications	**Sprawdzenie przestrzeni zagrożonych pożarem** Należy stwierdzić wpływ zmian konstrukcyjnych, dotyczących sposobu wykorzystania przestrzeni, układu składowania, urządzeń grzewczych, oświetleniowych lub wyposażenia budynku na kwalifikację do zagrożenia pożarowego lub projekt urządzenia tryskaczowego, tak aby możliwe były odpowiednie modyfikacje **Checking of area jeopardized by fire** It should be noted the impact of design changes relating to use of area, system of storage, heating, lighting or equipment installed in building on qualification for fire or project of sprinkler system, to allow appropriate modifications	**Armatura** Zawory regulacyjne, urządzenia alarmowe przepływu wody, zawory nadzorujące urządzenia alarmujące, nadzorujące urządzenia sygnalizacyjne (poza przełącznikami zaworów), manometry systemów mokrych, hydrauliczna tabliczka znamionowa **Armature** Control valves, flow alarm devices, valves supervising alarming devices, valves supervising signaling equipment, pressure gauges of wet systems, hydraulic identification plate	**Armatura** urządzenia alarmowe przepływu wody, urządzenia mechaniczne systemu **Armature** water flow alarm devices, mechanical equipment of the system

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.10

Częstotliwość kontroli (Control frequency)	Element kontrolowany i opis działania wg (Controlled element and a description of the operation by)			
			NFPA 25	
	PN-EN 12845:2004	VdS 2212pl*	Inspekcja (Inspection)	Test (Test)
kontrola rutynowa w odstępie nie dłuższym niż 13 tygodni (kwartalna) (quarterly control routine with an interval of no more than 13 weeks)	**Tryskacze, zawory sterujące i zraszacze** Tryskacze, zawory sterujące i zraszacze, na powierzchni których powstały osady (inne niż powłoki lakiernicze) powinny być starannie oczyszczone. Tryskacze, zawory sterujące i zraszacze, które zostały pomalowane lub odkształcone powinny zostać wymienione. Powłoki z wazeliny powinny być sprawdzone **Sprinkler heads, control valves and sprinklers** Sprinkler heads, control valves and sprinklers, coated with settlements (other than paint coatings) shall be thoroughly cleaned. Sprinklers, control valves and sprinklers that have been painted or deformed should be replaced. Coating of Vaseline should be checked	**Tryskacze, zawory sterujące i dysze rozpylające** Tryskacze, zawory sterujące i zraszacze, na powierzchni których powstały osadzenia powinny być starannie oczyszczone. Tryskacze, zawory sterujące i zraszacze, które zostały pomalowane lub odkształcone powinny zostać wymienione. Szczególną uwagę należy zwrócić na tryskacze w kabinach zraszaczowych, które wymagają częstszych kontroli i/lub przedsięwzięć ochronnych **Sprinkler heads, control valves and sprinklers** Sprinkler heads, control valves and sprinklers, coated with settlements (other than paint coatings) shall be thoroughly cleaned. Sprinklers, control valves and sprinklers that have been painted or deformed should be replaced. Coating of Vaseline should be checked		
kontrola rutynowa w odstępie nie dłuższym niż 13 tygodni (kwartalna) (quarterly control routine with an interval of no more than 13 weeks)		**Przewody rurowe i zawieszenia rur** Przewody rurowe i zawieszenia rur należy skontrolować losowo pod kątem korozji i w razie potrzeby odnowić powłoki malarskie. Powłoki na bazie bituminu odnawiać co 5 lat. Należy skontrolować uziemienia przewodów rurowych. Przewodów instalacji tryskaczowej nie można używać jako uziemienia. **Pipes and pipe suspensions** Pipes and tubes suspensions should be checked randomly for corrosion and if necessary renew the paint. Coatings based on bitumen renewed every 5 years. Inspect the ground piping. Sprinkler pipes can not be used as a ground.		
kontrola rutynowa w odstępie nie dłuższym niż 13 tygodni (kwartalna) (quarterly control routine with an interval of no more than 13 weeks)		**Armatura odcinająca** Armaturę odcinającą kontrolującą przepływ wody do tryskaczy należy uruchomić w celu sprawdzenia, czy znajduje się w stanie gotowości do pracy. Po kontroli należy przywrócić ustawienia i zabezpieczyć. Dotyczy to także armatury odcinającej we wszystkich zasileniach wodą, przy zaworach kontrolno-alarmowych oraz całej armatury odcinającej strefy i pozostałej dodatkowej armatury odcinającej **Shut-off armature** Shut-off valves controlling the flow of water to the sprinklers must be open in order to check whether it is ready for operation. After the inspection reset and secure. This also applies to shut-off valves in all the feeds of water, the valves controlling the alarm and the whole shut-off valves in the zones and the rest of additional shut-off valves		
kontrola rutynowa w odstępie nie dłuższym niż 13 tygodni (kwartalna) (quarterly control routine with an interval of no more than 13 weeks)		**Czujniki przepływu** Czujniki przepływu należy skontrolować pod kątem ich właściwego funkcjonowania i przyporządkowania do chronionego obszaru. **Flow sensors** Flow sensors must be checked for their proper operation and assignment to the protected area.		

Częstotliwość kontroli (Control frequency)	Element kontrolowany i opis działania wg (Controlled element and a description of the operation by)			
			NFPA 25	
	PN-EN 12845:2004	VdS 2212pl*	Inspekcja (Inspection)	Test (Test)
kontrola rutynowa w odstępie nie dłuższym niż 13 tygodni (kwartalna) (quarterly control routine with an interval of no more than 13 weeks)		**Ogrzewania współbieżne i stałe** Instalacje grzewcze zapobiegające zamarzaniu instalacji tryskaczowych należy skontrolować pod kątem ich właściwego funkcjonowania. **Concurrent and constant heating** Antifreeze installations for sprinkler systems should be checked for their proper operation.		
kontrola rutynowa w odstępie nie dłuższym niż 13 tygodni (kwartalna) (quarterly control routine with an interval of no more than 13 weeks)		**Instalacja monitorująca** Kontrola funkcjonowania instalacji monitorującej (min. 1 czujnik w linii monitorującej), włącznie z przesłaniem do miejsca stałego nadzoru **The monitoring installation** Function check of the monitoring system (min. 1 sensor in a monitoring line), should include transfer of data to the permanent supervision		
co najmniej raz na 6 miesięcy (at least every 6 months)		**Kontrola uruchomienia pomp** Kontroli podlega silnik elektryczny. Jeżeli w razie braku prąd jest zasilany dodatkowo z awaryjnego agregatu prądotwórczego, to należy skontrolować także automatykę przełączenia **Control of pump activation** Control is subject to an electric motor. If in the absence of current in the emergency generator also automatic switch should be checked		urządzenia łopatkowe i ciśnieniowe (vane and pressure devices)
co najmniej raz na 6 miesięcy (at least every 6 months)		**Powietrzne zawory kontrolno-alarmowe** Powietrzne zawory kontrolno-alarmowe oraz przyśpieszacze i odpowietrzacze szybkiego działania w instalacjach powietrznych i mieszanych należy poddać próbie wyzwolenia **Air control-alarm valves** Air control-alarm valves, accelerators and vents for rapid action in the air installations and mixed installations should be tested for proper operation		zawory nadzorujące urządzenia sygnalizujące, nadzorujące urządzenia sygnalizujące, spust (valves supervising signaling devices, supervising signaling device, trigger)
co najmniej raz w roku (at least once a year)	**Komory ssawne pomp i filtry** Filtry po stronie ssawnej pompy i komory osadowe i ich sita **Chamber suction pumps and filters** Filters on the suction side of the pump, sedimentary chamber and sieves should be checked	**Komory ssawne pomp i filtry** Filtry po stronie ssawnej pompy i komory osadowe i ich sita **Chamber suction pumps and filters** Filters on the suction side of the pump, sedimentary chamber and sieves should be checked	budynki (buildings)	zabezpieczenie przed zamarzaniem (antifreeze installations)
co najmniej raz w roku (at least once a year)		**Wodne zawory kontrolno-alarmowe** Zawory kontrolno-alarmowe należy otworzyć, poddać kontroli wewnętrznej oraz sprawdzić mechanicznie ruchome elementy pod kątem swobody ruchu. W razie potrzeby poddać remontowi. **Water control-alarm valves** Control-alarm valves should be opened. Make internal control and check mechanically moving parts for freedom of movement. If necessary, apply renovate parts of control-alarm valve.	wieszaki i usztywnienia sejsmiczne (hangers and seismic bracing)	

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.10

Częstotliwość kontroli (Control frequency)	Element kontrolowany i opis działania wg (Controlled element and a description of the operation by)			
			NFPA 25	
	PN-EN 12845:2004	VdS 2212pl*	Inspekcja (Inspection)	Test (Test)
co najmniej raz w roku (at least once a year)		**Kontrola wydajności pomp automatycznych i wodociągów miejskich (podłączenia bezpośredniego)** Każdą pompę tryskaczową lub podłączenie bezpośrednie instalacji należy skontrolować w warunkach pełnego obciążenia. Należy przy tym skontrolować cały zakres wydajności pompy lub podłączenia bezpośredniego. **Control of pumps, automatic and municipal water supply (direct connection)** Each pump of sprinkler system or water direct connection must be checked under full load conditions. It is important to check the performance range of the pump or water direct connection.	tryskacze, zapasowe tryskacze, znaki informacyjne, zawory bezpośredniego podłączenia (sprinklers, spare sprinklers, signs, valves, direct connection valves)	
co najmniej raz w roku (at least once a year)		**Armatura regulująca zasilanie zbiorników** Armaturę regulującą zasilanie zbiorników należy skontrolować pod kątem jej działania zgodnie z przeznaczeniem **Armature regulating flow in supply tanks** The valve regulating the supply of tanks should be checked for its function as intended		
co 3 lata (every 3 years)	**Zbiorniki zapasu i hydrofory** Wszystkie zbiorniki powinny być sprawdzone od zewnątrz na obecność korozji. Zbiorniki powinny zostać opróżnione, jeżeli jest to konieczne, oczyszczone i sprawdzone od zewnątrz na obecność korozji. Wszystkie zbiorniki powinny być pomalowane renowacyjnie, względnie, jeżeli jest to konieczne powinny mieć odnowioną ochronę antykorozyjną **Reserve tanks and hydrophores** All containers should be checked from the outside of the presence of corrosion. Tank should be drained, if necessary, cleaned and checked from the outside for corrosion. All containers should have renewed the paint coating, or, if necessary, should be renewed corrosion protection			
co 3 lata (every 3 years)	**Zawory odcinające zasilania wodą, zawory kontrolno-alarmowe i zwrotne** Wszystkie zawory odcinające zasilania, zawory kontrolno-alarmowe i zwrotne powinny zostać sprawdzone i, jeżeli jest to konieczne, wymienione lub poddane remontowi **Water supply valves, control-alarm valves and feedback valves** All power shut-off valves, control-alarm valves and feedback valves should be checked and, if necessary, replaced or subjected to renovation	**Zawory odcinające zasilania wodą, zawory kontrolno-alarmowe i zwrotne** Wszystkie zawory odcinające zasilania, zawory kontrolno-alarmowe i zwrotne powinny zostać sprawdzone i, jeżeli jest to konieczne, wymienione lub poddane remontowi **Water supply valves, control-alarm valves and feedback valves** All power shut-off valves, control-alarm valves and feedback valves should be checked and, if necessary, replaced or subjected to renovation		

Częstotliwość kontroli (Control frequency)	Element kontrolowany i opis działania wg (Controlled element and a description of the operation by)			
			NFPA 25	
	PN-EN 12845:2004	VdS 2212pl*	Inspekcja (Inspection)	Test (Test)
co 5 lat (every 5 years)		**Zbiorniki z wewnętrzną powłoką lub wykładziną i hydrofory** Wszystkie zbiorniki powinny być sprawdzone od zewnątrz na obecność korozji. Zbiorniki powinny zostać opróżnione, jeżeli jest to konieczne, oczyszczone i sprawdzone od zewnątrz na obecność korozji. Wszystkie zbiorniki powinny być pomalowane renowacyjnie, względnie, jeżeli jest to konieczne powinny mieć odnowioną ochronę antykorozyjną. Częstotliwość kontrolowania hydroforów wynika z odpowiednich przepisów prawnych dotyczących zbiorników ciśnieniowych **Tanks with internal coating or lining and hydrophores** All containers should be checked from the outside of the presence of corrosion. Tank should be drained, if necessary, cleaned and checked from the outside for corrosion. All tanks should be painted, or, if necessary, corrosion protection should be renewed. Frequency control hydrophores result of the relevant legal provisions for pressure vessels	drożność przewodów, wewnętrzna kontrola sieci przewodów, sprawdzenie przeszkód uniemożliwiających właściwe działanie tryskaczy (the patency of pipes, internal control of network wiring, checking the obstacles preventing the proper operation of the sprinkler)	manometry i tryskacze specjalnego przeznaczenia, tryskacze w środowisku korozyjnym, zawory każdego typu (pressure gauges and special purpose sprinklers, sprinklers in a corrosive environment, each type of valves)
co 10 lat (every 10 years)	**Zbiorniki zapasu** Wszystkie zbiorniki zapasu powinny być oczyszczone i sprawdzone od wewnątrz i poddane przeglądowi fabrycznemu **Reserve tanks** All reserve tanks should be cleaned and checked inside and revised.			
co 15 lat (every 15 years)		**Zbiorniki zapasu** Wszystkie zbiorniki zapasu powinny być oczyszczone i sprawdzone od wewnątrz i poddane przeglądowi fabrycznemu. W razie konieczności należy je poddać remontowi konstrukcji budowlanej. **Reserve tanks** All reserve tanks should be cleaned and checked inside and revised. If necessary, reserve tanks should be subjected to repairs.		
co 20 lat (every 20 years)				tryskacze błyskawicznego działania (po 20 latach i co każde 10 lat następne) (rapid action sprinklers (after 20 years and following every 10 years)

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.10

Częstotliwość kontroli (Control frequency)	Element kontrolowany i opis działania wg (Controlled element and a description of the operation by)			
			NFPA 25	
	PN-EN 12845:2004	VdS 2212pl*	Inspekcja (Inspection)	Test (Test)
co 25 lat (every 25 years)	**Tryskacze i przewody** Zaleca się, aby po 25 latach przewody rurowe i tryskacze zostały sprawdzone. Sieć przewodów powinna zostać dokładnie przepłukana i zbadana hydrostatycznie, stosując ciśnienie równe maksymalnemu ciśnieniu statycznemu lub 12 bar, w zależności, która z tych wartości jest większa. Zaleca się, aby sieć przewodów rurowych skontrolowana została wewnętrznie i zewnętrznie. Na każde 100 tryskaczy należy sprawdzić co najmniej jeden metr przewodu rozprowadzającego. Zaleca się sprawdzenie dwóch odcinków rur o długości co najmniej 1 m dla każdej średnicy. W przypadku urządzeń tryskaczowych wodnych, co najmniej jedna sekcja tryskaczowa powinna być sprawdzona w każdym budynku. W przypadku, gdy w budynku jest więcej niż jedno stanowisko kontrolno-alarmowe, jedynie 10% powinno być sprawdzone. Tryskacze ocenia się pod kątem działania, temperatury zadziałania, zmiany współczynnika K, przeszkody w zraszaniu, części zamka, czułości termicznej. **Sprinklers and hoses** After 25 years is recommended checking of piping and sprinklers. Ductwork should be thoroughly flushed and tested using hydrostatic pressure or equal to the maximum static pressure of 12 bar or depending on which of these values is greater. It is recommended that a network of piping was inspected internally and externally. For every 100 sprinklers should be checked at least one meter of distribution wires. It is advisable to check the two pipe sections of at least 1 m in diameter each. In the case of water sprinkler, at least one section of sprinkler should be checked in each building. If in the building is more than one control station, only 10% should be checked. Sprinklers are assessed for action, the response temperature, change in K-factor, obstacles sprayed, lock parts and thermal sensitivity	**Tryskacze i przewody** W przypadku instalacji wodnych po upływie 25 lat, a w przypadku instalacji powietrznych po upływie 12,5 lat należy zlecić kontrolę całkowitej sieci przewodów rurowych. Rurociąg należy poddać działaniu ciśnienia o wartości 1 bar powyżej ciśnienia roboczego instalacji, jednak nie mniej niż 10 bar przez 2 godziny i w razie potrzeby gruntownie przepłukać. Kontrolę przewodów należy wykonać losowo w zależności od ilości istniejących stacji kontrolno-alarmowych w budynku. Tryskacze poddawane kontroli wybierane są losowo w zależności od ilości wszystkich zainstalowanych tryskaczy z uwzględnieniem częstości wymiany wody na skutek rozbudowy instalacji tryskaczowej, szczególnie korozyjnego otoczenia, wpływu używanej wody, okresowo zmiennego wpływu ciepła, wpływu wibracji i ciepła promieniowania. **Sprinklers and hoses** In the case of water systems after 25 years and for air installations after 12.5 years should be checked a total pipe network. The pipeline should be exposed to a pressure of 1 bar above the operating pressure, but not less than 10 bar for 2 hours and, if necessary, thoroughly rinsed. Control pipes must be performed randomly, depending on the amount of the existing control-alarm station in the building. Sprinkler heads inspected are selected at random depending on the amount of all sprinkler including the water exchange rate due to expansion of the sprinkler system, particularly a corrosive environment, the effect of used water, periodically alternating the heat affected, the effect of radiant heat and vibration.		
co 50 lat (every 50 years)				tryskacze (po 50 latach i co każde 10 lat następne) (sprinklers (after 50 years and every 10 following years)
co 75 lat (every 75 years)				tryskacze (po 75 latach i co każde 5 lat następne) sprinklers (after 75 years and every 5 following years)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie NFPA 25 z 2014r.;VdS 2212pl; PN-EN 12845 [8-9]
Source: Own elaboration based on the NFPA 25, 2014; VdS en 2212; PN-EN 12845 [8-9]

4. Problemy w eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych

Warunkami skutecznego i niezawodnego działania instalacji tryskaczowej są przede wszystkim poprawnie wykonany projekt, właściwy montaż oraz odpowiednia konserwacja [5]. Do tych warunków należy zaliczyć również dobór technologii oraz materiału dla instalacji tryskaczowej na etapie projektowania oraz sposób łączenia przewodów instalacyjnych. Dodatkowo należy zwrócić uwagę na potrzebę opracowania metody prowadzenia konserwacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych uwzględniającej korozyjny wpływ wody zasilającej tego rodzaju urządzenia.

Na podstawie powyższych rozważań można stwierdzić, że skuteczność stałych urządzeń gaśniczych wodnych zależy od wielu czynników. W celu utrzymania odpowiedniego stanu technicznego wbudowanego w budynek urządzenia gaśniczego już na etapie projektowania należy skupić uwagę na szeregu detali mających wpływ na jego skuteczność w fazie eksploatacji. Po pierwsze należy dokonać prawidłowego wyboru instalacji gaśniczej w zależności od rodzaju zagrożenia pożarowego. Ponadto należy przyjąć właściwy standard projektowania urządzenia gaśniczego, w pełni opisujący aspekty projektowania i zastosowania wybranego typu stałego urządzenia gaśniczego. Dodatkowo do procesu projektowania powinno się zaangażować wielu specjalistów oraz firmy specjalizujące się w projektowaniu tego typu urządzeń. Ważna jest współpraca wielu branż: budowlanej, elektrycznej i instalacyjnej[6]. Wczesne zaangażowanie wielu specjalistów z zakresu ochrony przeciwpożarowej na etapie projektowania budynku pozwala uniknąć przyszłych problemów eksploatacyjnych lub kosztów związanych z budową stałego urządzenia gaśniczego. Stałe urządzenia gaśnicze są projektowane pod kątem określonego obciążenia ogniowego, rodzaju zagrożenia, sposobu magazynowania, sposobu ochrony i działania. Jakakolwiek zmiana tych warunków skutkuje zawodnością działania urządzenia gaśniczego wbudowanego w budynek. Biorąc pod uwagę powyższe, wybór wytycznych projektowania ma wpływ na skuteczność działania urządzeń gaśniczych. Obecnie na etapie projektowania można wykorzystać m.in. wytyczne zawarte w polskich normach, VdS, CEA lub NFPA. Zastosowanie wymienionych wytycznych będzie miało wpływ na końcowy kształt stałych urządzeń gaśniczych. Projekty stworzone w oparciu o te wytyczne, nawet dla tego samego obiektu budowlanego, będą różne. W żadnym wypadku nie należy stosować wielu wytycznych do realizacji tego samego projektu. Skutkować to może wadliwym lub niewydajnym działaniem urządzenia gaśniczego w przypadku zaistnienia pożaru [6].

Do najczęstszych przyczyn wadliwego działania stałych urządzeń gaśniczych wodnych można zaliczyć: zbyt mały zasięg zainstalowanych tryskaczy (64%), zbyt małą ilość wody (29%), uszkodzony komponent systemu (8%), brak właściwej konserwacji (7%), zastosowanie nieodpowiedniego systemu do rodzaju pożaru (5%) [2], [4]. Przyczyny te mogą wynikać z błędów popełnionych już na etapie projektowania lub w stadium wykonania. Do najczęstszych błędów projektowych można zaliczyć [6]: nieprawidłowy wybór zagrożenia pożarowego, wybór najtańszych komponentów instalacji, błędne rozmieszczenie tryskaczy, nieprawidłowe zasilanie instalacji wodą (zbyt mała ilość ujęć, za mała wydajność wodociągu), przewymiarowanie instalacji, a nawet błędnie wykonane obliczenia. Ponadto do błędów projektowych należy zaliczyć wzajemne oddziaływanie pozostałych instalacji będących wyposażeniem budynku. Dla przykładu niewłaściwie zaprojektowany system wentylacji lub umieszczenie systemu tryskaczy w strefie ruchu mas powietrza wentylacyjnego może mieć wpływ szybkość wykrycia pożaru. Tym samym czas otwarcia tryskacza może się znacząco wydłużyć, co niewątpliwie obniży skuteczność działania stałego urządzenia gaśniczego wodnego. Po części nieumiejętne i niewłaściwe zastosowanie technologii BIM w projektowaniu stałych urządzeń gaśniczych również może przyczyniać się do powstawania wielu błędów projektowych, mogących mieć wpływ na skuteczność działania instalacji tryskaczowej lub właściwą eksploatację stałych urządzeń gaśniczych wodnych. Obecnie dostępne oprogramowanie z pewnością ułatwia tworzenie projektu graficznego instalacji tryskaczowej, lecz nieznajomość zaimplementowanego modelu obliczeń i właściwości dobranych komponentów może skutkować stworzeniem projektu niespełniającego wymaganych założeń. Niezauważone i niepoprawione nieprawidłowości projektowe przyczyniają się do powstawania licznych błędów wykonawczych. Do najczęstszych z nich można zaliczyć [6]: nieprawidłowy montaż tryskaczy, nieprawidłowy rozdział wody, przekroczenie odległości tryskaczy od ściany czy stropu, niewłaściwie zakotwioną sieć przewodów, niewłaściwe zabezpieczenie przed zamarzaniem (jeśli instalacja przebiega przez miejsca zagrożone oddziaływaniem temperatury zewnętrznej), niewłaściwe spadki przewodów, nieprawidłowo wykonane urządzenia alarmowe i monitorujące lub ich brak, nieprawidłowo wykonane przejścia instalacji przez przegrody budowlane, a nawet przyłączenie przewodów systemu tryskaczy do innych mediów. Do grupy powyższych można zaliczyć także dobór technologii montażu i łączenia przewodów. W przypadku przewodów stalowych wybór techniki łączenia rur może mieć istotny wpływ na szybkość korozji sieci przewodów stałego wodnego urządzenia gaśniczego. Na przykład w przypadku zastosowania nierozpuszczalnych w wodzie chłodziw przy wykonywaniu połączeń gwintowanych instalacji tryskaczowej [7].

5. Podsumowanie

W artykule dokonano analizy porównawczej metod kontroli stanu technicznego stałych wodnych urządzeń gaśniczych według wytycznych NFPA 25, VdS 2212pl i polskiej normy PN-EN 12845. Na podstawie zaprezentowanych danych można stwierdzić, że pomimo różnic w niektórych przypadkach są one podobne. Istnieje na przykład podobieństwo pomiędzy wytycznymi przedstawionymi w polskiej normie a książką eksploatacji dla wodnych instalacji gaśniczych. W obu przypadkach dość szeroko opisano warunki prowadzenia kontroli oraz jej sposób. Wytyczne eksploatacyjne zawarte w polskiej normie są jednak mniej szczegółowe oraz odstęp czasowy między kontrolą niektórych elementów jest dłuższy. Dla przykładu wytyczne z PN-EN 12845 w ogóle nie uwzględniają kontroli dziennej. Wskazują na potrzebę częstszego sprawdzania stanu technicznego zbiorników zapasu wody oraz instalacji grzewczych zapobiegających zamarzaniu instalacji tryskaczowej. Kontrola wielu elementów odbywa się z taką samą częstotliwością i w jednakowym zakresie. Jednakże wytyczne we wzorze książki eksploatacji dla wodnych instalacji gaśniczych są znacznie bardziej szczegółowe i szerszym zakresem obejmują większą liczbę kontrolowanych elementów, niekiedy z większą częstotliwością. Natomiast odmienna sytuacja ma miejsce w przypadku wytycznych przedstawionych w NFPA 25 z roku 2014. Minimalistyczne wręcz podejście do procesu eksploatacji może budzić zastrzeżenia, lecz swoim zakresem obejmuje najistotniejsze elementy stałych urządzeń gaśniczych wodnych. Co więcej wytyczne te rozdzielają wyraźnie proces sprawdzenia i testowania. Sprawdzenie według wytycznych NFPA polega wyłącznie na bieżącej kontroli wizualnej. Poszukiwane są widoczne ślady niszczenia lub przecieków na instalacji. Uwagę natomiast należy zwrócić na fakt, że w metodzie zaprezentowanej w wytycznych NFPA 25 położono nacisk na sprawdzenie stanu technicznego przewodów instalacji tryska-

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.10

czowej. Jest to jedyna metoda, zgodnie z którą sprawdzenie wewnętrzne stanu technicznego przewodów odbywa się co pięć lat, łącznie ze sprawdzeniem przepustowości przewodów stałego urządzenia gaśniczego wodnego. Ponadto wytyczne NFPA 25 uwzględniają znacznie dłuższy czas eksploatacji tego rodzaju zabezpieczenia przeciwpożarowego budynków. W polskiej normie istnieje jedynie zalecenie do sprawdzenia wnętrza przewodów po 25 latach pracy urządzenia. Co bardziej niepokojące sprawdzenie dotyczy losowo wybranych odcinków. W wytycznych VdS 2212 podobnie jak w polskiej normie wymagana jest wewnętrzna kontrola przewodów zarówno pod kątem postępującej korozji, jak i wytrzymałości sieci rurociągu, również po 25 latach eksploatowania stałego urządzenia gaśniczego. Jednakże testowanie sieci wykonywane jest pod niższym ciśnieniem, niż przewidują to wytyczne zawarte w PN-EN 12845.

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonej analizy porównawczej można stwierdzić, że zaprezentowane metody eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych nie są w stanie zapewnić utrzymania właściwego stanu technicznego przewodów instalacji tryskaczowej. Mimo że w wielu aspektach wskazują szczegółowy zakres kontroli elementów, jak najbardziej istotnych z punktu widzenia niezawodności działania, to niestety pomijają wpływ jakości wody zasilającej na przewody i armaturę stałych wodnych urządzeń gaśniczych, o czym wspomniano w [4]. Konieczne staje się zatem opracowanie metody eksploatacji tego rodzaju urządzeń przeciwpożarowych, których eksploatacja będzie możliwie prosta, jak na przykład metoda przedstawiona w wytycznych NFPA 25, a jednocześnie będzie uwzględniała zmienną jakość wody zasilającej urządzenia tryskaczowe i jej wpływ na stan techniczny przewodów.

Zaprezentowana analiza porównawcza stanowi podstawę do opracowania kompleksowej metody eksploatacji stałych urządzeń wodnych gaśniczych, która zostanie zaprezentowana przez autorów niniejszego opracowania po zrealizowaniu badań w tym zakresie.

Literatura

[1] VdS 2212pl: 2015-03 (07) *Książka eksploatacji dla wodnych instalacji gaśniczych,* str. 5
[2] Hall J.R. Jr., *U.S. experience with sprinklers*, NFPA, June 2013.
[3] Ustawa Prawo Budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. (Dz. U. z 2003 r, 207.2016, z późn. zm.).
[4] Denczew S., Serejko G., *O potrzebie badania jakości wody zasilającej stałe wodne urządzenia gaśnicze*, „Ochrona Przeciwpożarowa" 2014, (50)4, 18-20.
[5] Kowalczyk K., *Tryskacze – fakty i mity*, Ergo Hestia, 2010
[6] *Stałe urządzenia gaśnicze: Rodzaje, zastosowanie oraz ich wpływ na bezpieczeństwo pożarowe obiektów budowlanych*, Polska Izba Ubezpieczeń, Warszawa 2015.
[7] Fiertak M., Dębska D., *Przyczyny korozji ocynkowanych rur stalowych stosowanych w systemach rozprowadzania i magazynowania wody*, „Przegląd budowlany" 2012, 6, 23-26.
[8] Polska Norma PN-EN 12845 Stałe urządzenia gaśnicze. Automatyczne urządzenia tryskaczowe. Projektowanie instalowanie i konserwacja.
[9] NFPA 25. Standard for the inspection, testing, and maintenance of water-based fire protection systems.

* * *

prof. dr hab. inż. Sławczo Denczew – polski naukowiec, profesor zwyczajny Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, profesor nadzwyczajny Politechniki Warszawskiej w filii w Płocku. Był naczelnym inżynierem oraz dwukrotnie pełniącym obowiązki dyrektora naczelnego (1992, 2001–2003) Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w m.st. Warszawie. Jest specjalistą z zakresu wodociągów i kanalizacji, przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz organizacji i zarządzania infrastrukturą komunalną, w szczególności sektorem wodociągów i kanalizacji w sytuacjach kryzysowych.

mgr inż. Grzegorz Serejko – absolwent Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej (kierunek inżynieria środowiska). Od 2008 roku pracownik naukowo-dydaktyczny Politechniki Warszawskiej w filii w Płocku. Zatrudniony na stanowisku asystenta. Obecnie doktorant prof. dr. hab. inż. Sławczo Denczewa. Prowadzi badania dotyczące wpływu jakości wody zasilającej stałe wodne urządzenia gaśnicze na sprawność i skuteczność ich działania. Obszar zainteresowań naukowych obejmuje szeroko rozumianą inżynierię środowiska, fizykę budowli oraz przeciwpożarowe zaopatrzenie w wodę.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 117–126

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.11

st. kpt. dr inż. **Piotr Tofiło**[1]
dr hab. inż. **Vladimir Mozer**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 03.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Prognozowanie strumienia ciepła na zewnątrz budynku z użyciem różnych wariantów obliczeniowych w odniesieniu do danych eksperymentalnych[3]

Estimating the Heat Flux Outside a Building Using Various Calculation Approaches with Respect to the Experimental Data

Прогнозирование величины теплового потока снаружи здания в случае внутреннего пожара. Сравнение вариантов расчета с экспериментальным данным

ABSTRAKT

Cel: Zbadanie charakterystyki i dokładności modeli promieniowania cieplnego względem dostępnych danych eksperymentalnych. Porównanie różnych metodyk obliczania promieniowania cieplnego
Projekt i metody: Ocena wielkości zewnętrznego strumienia ciepła pochodzącego z pożaru w budynku i przedostającego się do innego budynku lub innej części tego samego budynku jest ważną częścią inżynierii ochrony przeciwpożarowej. Jednocześnie nie jest to problem łatwy do rozwiązania, ponieważ wiąże się ze złożonymi procesami charakterystycznymi dla w pełni rozwiniętego pożaru, o dynamice kontrolowanej dostępem powietrza i występowaniem zewnętrznych płomieni. Obliczanie zasięgu krytycznego strumienia ciepła pozwala ustanowić minimalne wymagane odległości pomiędzy budynkami. Chociaż istnieje wiele zaawansowanych metod numerycznych, jak np. CFD, które mogą być użyte do obliczania strumienia promieniowania ciepła, w praktyce w rutynowych badaniach inżynierowie bezpieczeństwa pożarowego stosują jedynie najprostsze metody szacunków. Niektóre najnowsze badania doświadczalne wskazują, że metody te mogą być niedokładne, ponieważ nie obejmują promieniowania pochodzącego od płomieni zewnętrznych. Promieniowanie to jest ujęte w niektórych istniejących metodologiach obliczeniowych, takich jak Eurokod, czy norma amerykańska NFPA 80A. Metoda wskazana w Eurokodzie uwzględnia wiele parametrów wejściowych, takich jak geometria pomieszczenia, otworów, obciążenie ogniowe i warunki wentylacji, a jej dane wyjściowe to temperatura pomieszczenia oraz geometria i rozkład temperatury płomieni zewnętrznych. W artykule wszystkie metody obliczeniowe oparte na współczynniku konfiguracji, czyli zarówno metoda promieniującego prostokąta, jak i metody uwzględniające zewnętrzne płomienie, zostały zbadane z użyciem programu autorskiego FireRad, który umożliwia stosowanie dowolnych kształtów przestrzennych jako zestawu promieniujących powierzchni. W artykule wykorzystano dostępne publicznie literaturowe dane eksperymentalne z badań kanadyjskich i czechosłowackich.
Wyniki: Wyniki przedstawiono w formie porównania rozkładów strumienia ciepła uzyskanego w eksperymentach z wynikami badań z użyciem różnych wariantów obliczeniowych promieniowania. Wskazano, które czynniki decydują o większej zbieżności danych eksperymentalnych i obliczeń.
Wnioski: W artykule zebrano i omówiono wyliczenia z użyciem różnych metod oraz podano zalecenia do ostrożnego prognozowania wielkości strumienia ciepła. Program FireRad jest przydatnym narzędziem do obliczeń strumienia cieplnego dla złożonych geometrii.

Słowa kluczowe: promieniowanie cieplne, ochrona przeciwpożarowa, płomień zewnętrzny
Typ artykułu: artykuł z praktyki dla praktyki

ABSTRACT

Goal: To examine the characteristics and the accuracy of the models of thermal radiation in terms of available experimental data. Comparison of different methodologies for calculating thermal radiation.
Project and methods: Estimating the size of the external heat flux from a fire in a building to another building or another part of the same building is an important part of fire protection engineering. At the same time it is not a trivial issue, because it involves complex processes

[1] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service, Poland, piotr.tofilo@gmail.com;
[2] Uniwersytet Żyliński, Słowacja / University of Zilina, Slovak Republic;
[3] Procentowy wkład merytoryczny / Percentage contribution: P. Tofiło – 60%, V. Mozer – 40%;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.11

associated with a fully developed fire with dynamics controlled by air access and the presence of external flames. Calculation the range of critical heat flux leads to the establishment of the minimum required distance between buildings. Although there are many advanced numerical methods like CFD which can be used for calculating heat flux of radiation, but for practical purposes only the simplest methods for estimating the heat flux of radiation are routinely applied by fire protection engineers. Some recent experimental studies indicate that these methods may not be accurate, because they do not include radiation from external flames. Radiation from external flames is included in some of the existing computational methodologies like Eurocode or American standard NFPA 80A. The method included in Eurocode includes many input parameters like compartment geometry, characteristics of openings, fire load density and ventilation conditions, and its output parameters are the temperature of the compartment and the geometry and temperature of external flames. In this article, all the methods of calculation based on the configuration ratio, that is both the method of the radiating rectangle, and the methods including external flames, are tested using a copyright program called FireRad which allows the use of any spatial shapes as a set of radiating surfaces. The experimental data used in this paper are public literature data from Canadian and Czechoslovakian experimental programs.
Results: The results are presented as a comparison of the heat flux distributions obtained from experiments to the distributions obtained using various modeling approaches. Factors which determine the increasing convergence of experimental data and calculations were indicated.
Conclusion: The article summarized and discussed calculations using various methods; it also provided recommendations for prudent estimation of the size of the heat flux. FireRad proved to be a useful tool in calculating heat flux for complex geometries.

Keywords: thermal radiation, fire protection, external flame
Type of article: best practice in action

АННОТАЦИЯ

Цель: Изучить характеристику и точность моделей теплового излучения, сравнивая их с имеющимися экспериментальными данными. Сравнение различных методов расчета теплового излучения.
Проект и методы: Оценка размеров внешнего теплового потока пожара в здании, переходящего на другое здание или другую часть данного здания, является важной частью пожарной инженерии. В то же время это не простая задача, поскольку она связана с многими сложными процессами развитого пожара, с контролируемой динамикой доступа воздуха и наличием внешнего пламени. Расчет критической дальности теплового потока позволяет определить минимальное требуемое расстояние между зданиями. Хотя существует много передовых численных методов, таких как, например CFD, которые могут быть использованы для расчета теплового потока, в практике инженеры пожарной безопасности используют обычно самые простые. Некоторые новейшие экспериментальные исследования указывают на то, что эти методы могут быть не точными, так как в них не учитывается излучение от внешнего пламени. Облучение от внешнего пламени включено в некоторые существующие методики вычисления, такие как Еврокод или американский стандарт NFPA 80A.
Метод указанный в Еврокоде учитывает большое количество входных параметров, таких как геометрия помещения, отверстий, пожарная нагрузка и условия вентиляции, а его исходные данные - это температура помещения, а также геометрия и распределение температуры внешнего пламени. В этой статье все методы расчета основаны на коэффициенте конфигурации, то есть методе излучающего прямоугольника и методы учитывающие внешнее пламя были исследованы с помощью авторской программы FireRad, которая позволяет использовать любые пространственные формы как совокупность излучающей поверхности. В статье использованы публично доступны литературные экспериментальные данные: канадские и чехословацкие исследования.
Результаты: Результаты представлены в форме сравнения распределений теплового потока, полученного в результате экспериментов с использованием различных вариантов расчета излучения. Указаны факторы, определяющие возрастающую сходимость экспериментальных данных и расчетов.
Выводы: В статье собраны и описаны расчеты с использованием различных методов, а также даются рекомендации относительно разумного прогнозирования размера теплового потока. Программа FireRad является полезным инструментом для расчета теплового потока для объектов со сложной геометрией.

Ключевые слова: тепловое излучение, пожарная охрана, внешнее пламя
Вид статьи: с практики для практики

1. Wprowadzenie

Promieniowanie cieplne podczas pożarów wewnętrznych grozi ryzykiem, że ogień rozprzestrzeni się poza poza budynek. Aby odnaleźć skuteczną metodę wyznaczania strumienia ciepła, na świecie przeprowadzono wiele badań naukowych [1-3]. Niektóre z tych badań posłużyły za podstawę dzisiejszych przepisów prawa budowlanego i norm dotyczących bezpieczeństwa pożarowego.

Istnieją dwa główne czynniki wpływające na wielkość strumienia ciepła: wielkość promiennika i jego temperatura. W rzeczywistych pożarach powierzchnia promieniująca obejmuje zazwyczaj obszar otworu w przegrodach budowlanych oraz płomienie zewnętrzne poza otworem. Mimo że niektóre metody obliczania strumienia promieniowania ciepła [1] pomijają płomienie zewnętrzne, ich znaczny wpływ potwierdzają badania eksperymentalne [5]. W związku z tym istnieje realna potrzeba oceny i ewentualnej poprawy dokładności szacunków wielkości strumienia ciepła na podstawie charakterystyki budynku i pożaru. Niniejszy artykuł zawiera przegląd wybranych, dostępnych metod, takich jak metoda promieniującego prostokąta, metoda opisana w Eurokodzie [7] oraz autorskie rozwijane i optymalizowane narzędzie obliczeniowe FireRAD [8]. Metody te zostaną użyte do przewidywania strumieni cieplnych na podstawie rzeczywistych danych doświadczalnych.

2. Dostępne metody inżynierskie

2.1. Promieniujący prostokąt

Najczęściej stosowaną podstawową metodą oceny zewnętrznego strumienia promieniowania jest metoda tzw. promieniującego prostokąta, w którym każde okno w strefie pożarowej jest oddzielnym promiennikiem lub wszystkie okna działają jako jeden promiennik z uwzględnieniem odsetka powierzchni niechronionych. Aby przeprowadzić obliczenia z wykorzystaniem tego podejścia, należy wcześniej ustalić temperaturę prostokąta. Zazwyczaj jest to temperatura wewnątrz pomieszczenia objętego pożarem. Temperatura prostokąta jest następnie przeliczana na strumień ciepła emitowanego przez prostokąt z uwzględnieniem emisyjności, która zakładana jest do celów technicznych jako 1,0 lub 0,9 oraz

współczynnika konfiguracji, obliczanego za pomocą prostych wzorów inżynierskich lub tablic. Przepisy przeciwpożarowe niektórych krajów zakładają dwa lub więcej poziomów strumienia ciepła odpowiadających typom budynków o określonym obciążeniu ogniowym. Zazwyczaj większość budynków mieszkalnych i budynków użyteczności publicznej należy do kategorii o niższej temperaturze (ok. 830°C i 84 kW/m^2), podczas gdy budynki przemysłowe i handlowe należą do kategorii wyższej temperatury (ok. 1100°C i 168 kW m^2). To uproszczone podejście opiera się na empirycznych danych z lat 60. i uwzględnia spory rozrzut warunków pożarowych widzianych w wielu danych eksperymentalnych, co ukazano w dokumencie BR187. Zaletą takiego podejścia jest względna prostota konwersji danych geometrycznych na minimalne odległości separacji budynków. Niektóre z ostatnich badań poddają jednak w wątpliwość skuteczność tej nieskomplikowanej metody. Zgodnie z nimi uzyskiwana wartość strumienia ciepła jest niedoszacowana ze względu na nieuwzględnienie w metodzie oddziaływania płomieni zewnętrznych.

2.2. Metody uwzględniające płomienie zewnętrzne

Istnieje pewien zbiór metod wyznaczania strumienia ciepła, które obejmują promieniowanie płomieni zewnętrznych. Najbardziej znaną jest metoda podana w Aneksie B Eurokodu 1991-1-2 [7]. Uproszczona wersja tej metody została niedawno przedstawiona w kanadyjskim badaniu eksperymentalnym [5-6]. W tym podejściu promieniowanie od płomieni dodaje się do promieniowania z wewnątrz pomieszczenia (otworu). W metodzie zawartej w Eurokodzie obliczenia rozpoczynają się od oceny maksymalnej możliwej mocy pożaru (szybkości wydzielania ciepła) w pomieszczeniu, która zależy od wielkości pomieszczenia i jego otworów (równanie 1).

$$Q = min\left(\frac{(A_f \cdot q_{f,d})}{\tau_F}; 3{,}15\left(1 - e^{-\frac{0{,}036}{O}}\right)A_v\left(\frac{h_{eq}}{D/W}\right)^{1/2}\right) \qquad (1)$$

Gdzie:

A_f = powierzchnia podłogi [m^2],
A_v = powierzchnia otworów [m^2],
h_{eq} = średnia wysokość otworów [m],
$q_{f,d}$ = obciążenie ogniowe [MJ/m^2],
τ_F = czas trwania pożaru [s],
D/W = stosunek długości ścian pomieszczenia (wyliczany na kilka sposobów – patrz Eurokod),

$O = A_v\sqrt{h_{eq}}/A_t$

(współczynnik otworów pomieszczenia – ang. *opening factor of the compartment*).

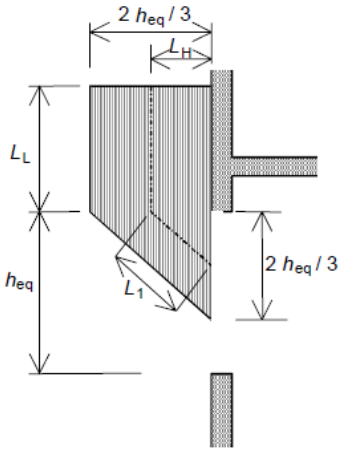
W następnym etapie obliczana jest maksymalna temperatura w pomieszczeniu (równanie 2), która następnie użyta jest do obliczenia promieniowania z wewnątrz pomieszczenia (jako promieniujący prostokąt o temperaturze T_f i emisyjności równej 1).

$$T_f = 6000\left(1 - e^{-\frac{0{,}1}{O}}\right)O^{0.5}(1 - e^{-0{,}00286\Omega}) + T_0 \qquad \text{[K]} \ (2)$$

Gdzie: $\Omega = (A_f \cdot q_{t,d})/(A_v \cdot A_t)^{1/2}$

T_0 – Temperatura otoczenia [K],
A_t – powierzchnia całkowita przegród wraz z otworami [m^2].

Następnie obliczane są parametry geometrii płomieni zewnętrznych zgodnie z ryc. 1.



Ryc.1. Geometria modelu płomieni zewnętrznych [7]
Fig. 1. Geometry of external flames [7]

Uwzględniana jest w szczególności długość płomienia zewnętrznego obliczana zgodnie z kilkoma dostępnymi wariantami związanymi z obecnością ściany ponad oknem, najczęściej zgodnie z równaniem 3 i 4 (dostępne są także inne warianty, takie jak: brak ściany ponad oknem lub mała szerokość okna, wypływ płomieni wymuszony wentylacją, wpływ balkonów).

$$L_f = L_L + L_1 = L_L + h_{eq}/2 \qquad (3)$$

$$L_L = 1{,}9\left(\frac{Q}{w_t}\right)^{2/3} - h_{eq} \qquad (4)$$

Rozkład temperatury wzdłuż długości płomienia ustala się tak, by możliwe było stworzenie uproszczonej struktury płomienia jako zestawu powierzchni promieniujących. Gradient temperatury jest liniowy i rozpoczyna się wielkością T_w w przekroju okna obliczonej z równania 5 i zmienia się zgodnie z równaniem 6.

$$T_w = \frac{520}{\left(1 - 0{,}4725\left(L_f \cdot \frac{w_t}{Q}\right)\right)} + T_0 \qquad (5)$$

$$T_z = (T_w - T_0)\left(1 - 0{,}4725\left(L_x \cdot \frac{w_t}{Q}\right)\right) + T_0 \qquad (6)$$

Gdzie:

L_f – długość płomieni [m],
L_x – dystans wzdłuż osi płomieni [m],
w_t – łączna szerokość otworów [m],
Q – moc pożaru [kW].

Strumień ciepła promieniowania od płomieni zewnętrznych jest obliczany na podstawie temperatury i emisyjności płomienia, która zależy od grubości płomienia (która z kolei zależy od wysokości okna) i oblicza się ją z równania 7:

$$\varepsilon_f = 1 - e^{-0{,}3d_f} \qquad (7)$$

Gdzie:

d_f – grubość płomienia [m],
0,3 – współczynnik emisyjności zalecany w Eurokodzie (badania kanadyjskie zalecają współczynnik 0,5 w celu osiągnięcia większej zgodności z ich eksperymentem).

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.11

W praktyce trudnością w pełnym zastosowaniu tej metodologii jest to, że zgodnie z jej założeniem temperatura płomienia zmniejsza się wraz z jego długością. Aspekt ten jest rzadko brany pod uwagę, ponieważ wymaga jeszcze większej liczby promieniujących powierzchni i oddzielnych temperatur, co często w praktyce inżynierskiej jest zbyt uciążliwe. Uproszczone podejście zaproponowane przez kanadyjskich naukowców obejmuje tylko dwa dodatkowe promieniujące prostokąty reprezentujące płomień.

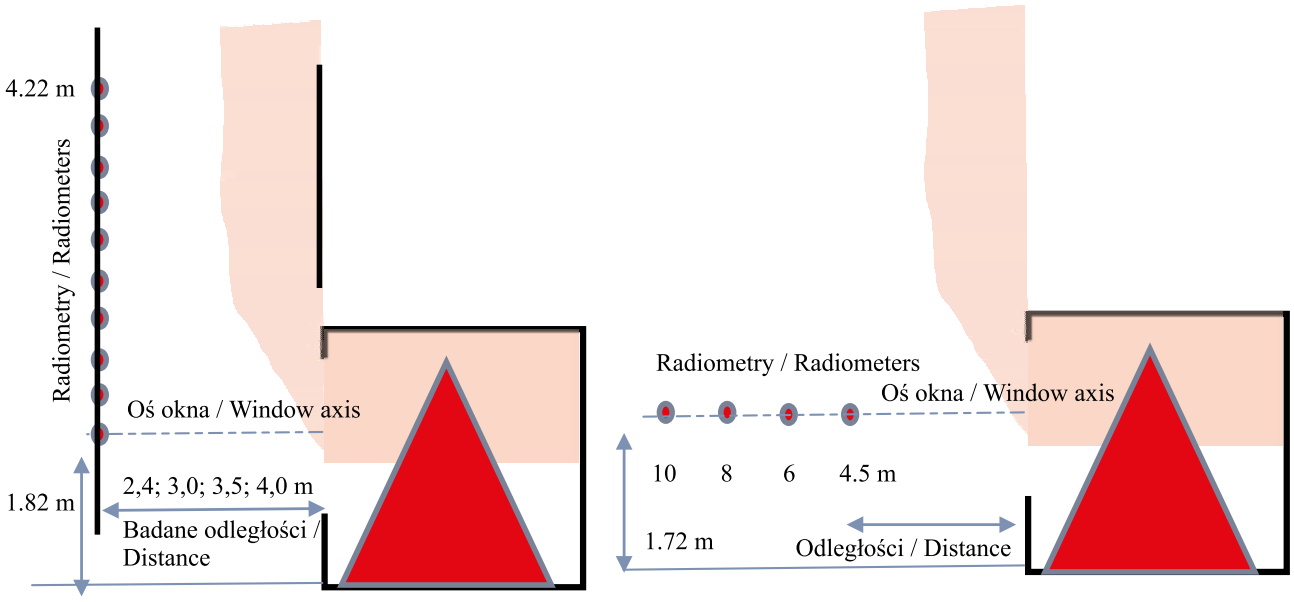
W niniejszym artykule nie przytoczono pełnego opisu metodologii obliczeniowej zawartej w Eurokodzie z uwagi na jej stosunkowo dużą obszerność.

2.3. Algorytm FireRad

Autorski algorytm komputerowy FireRad [8] został stworzony do prowadzenia obliczeń z użyciem współczynników konfiguracji (ang. *view factor*). Może być on wykorzystywany do badania rozkładów strumieni promieniowania w przestrzeni jako izopowierzchnie oraz strumienia padającego na daną powierzchnię w postaci map konturowych. Obliczenia możliwe są dla prostych i złożonych geometrii, również z uwzględnieniem wpływu przeszkód (częściowego i całkowitego zasłonięcia promieniujących powierzchni). FireRad może obliczać rozkład strumienia ciepła emitowanego pierwotnie z różnych powierzchni, takich jak prostokąty, zewnętrzne płomienie, stożki, cylindry lub inne dowolne kształty. W odniesieniu do zewnętrznych płomieni podstawowe ustawienia zakładają podejście zgodne z Eurokodem w zakresie temperatury pomieszczenia, wielkości płomienia, temperatury płomienia – zarówno początkowej w płaszczyźnie otworu, jak i dalszej, zmieniającej się wzdłuż płomienia. W odniesieniu do rozkładu temperatury wzdłuż płomienia struktura może być podzielona na kilka sekcji, gdzie każda część może charakteryzować się indywidualną temperaturą. Biorąc pod uwagę te możliwości, FireRad to wygodny program do analizy i porównań różnych wariantów modelowania obejmujący zarówno promieniowanie z otworów, jak i płomienie zewnętrzne. W niniejszym artykule program FireRad został wykorzystany do przeprowadzenia wszystkich obliczeń, od najprostszego (prostokąt) do najbardziej złożonego wariantu, tzn. takiego, w którym płomienie zewnętrzne modelowane są jako zestaw powierzchni o różnej temperaturze.

3. Dane eksperymentalne

W celu dokonania oceny dokładności wyżej opisanych metod obliczeniowych do porównania zostały wybrane dwa zestawy danych eksperymentalnych oparte na raportach z badań kanadyjskich [5-6] i czechosłowackich [4]. Szczegóły obydwu tych eksperymentów przedstawione są na ryc. 2. Zilustrowano w nich pomieszczenie z otworem, symbolicznie przedstawiony pożar z warstwą dymu i płomieniami zewnętrznymi oraz rozmieszczenie aparatury pomiarowej (radiometrów mierzących strumień cieplny). W badaniach czechosłowackich jako materiał palny wykorzystano drewno, natomiast naukowcy kanadyjscy wykorzystywali drewno i propan. W artykule do porównań przyjęto pożary drewna, gdyż uważa się je za bardziej naturalny rodzaj pożaru.



Pomieszczenie/Room 5.95 x 4.4 x 2.75 m
Okno/Window: Szer/Width=1.1, 1.45, 2.5; Wys/Hight=1.45 m Obciążenie ogn./Fire load: drewno/wood 38 kg/m^2, propan/propane
Materiał przegród: płyta izolacyjna / Barrier material: insulating board

Pomieszczenie/Room 5.3 x 4.85 x 3.55 m
Okna/Windows 2 x 1.8 x 1.65, separacja/separation 0.9 m Obciążenie ogn./Fire load: drewno/wood 40,50,60 kg/m^2 Materiał przegród: beton / Barrier material: concreta

Ryc. 2. Stanowiska eksperymentalne: a) badania kanadyjskie, b) badania czechosłowackie
Fig. 2. Experimental station a) Canadian experiments b) Czechoslovakian experiments
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5-6].
Source: Own elaboration based on [5-6].

Tabela 1. Podsumowanie eksperymentów czechosłowackich [4]
Table 1. Summary of Czechoslovakian experiments[4]

Eksperyment, numer **Experiment, number**	**Exp 1**	**Exp 2**	**Exp 3**
Obciążenie ogniowe (drewno), [kg] / Fire load (wood) [kg]"	40	50	60
Temperatura w pomieszczeniu [^{0}C] / Compartment Temperature (measured) [^{0}C]	915	957	936
Strumień ciepła, odległość 4,5m [kW/m^2] / Heat flux, distance 4.5m [kW/m^2]	8,7	12,1	12,2
Strumień ciepła, odległość 6,0m [kW/m^2] / Heat flux, distance 4.5m [kW/m^2]	5,4	7	7
Strumień ciepła, odległość 8,5m [kW/m^2] / Heat flux, distance 4.5m [kW/m^2]	2,5	3,4	3,1
Strumień ciepła, odległość 10,0m [kW/m^2] / Heat flux, distance 4.5m [kW/m^2]	1,35	1,8	1,7

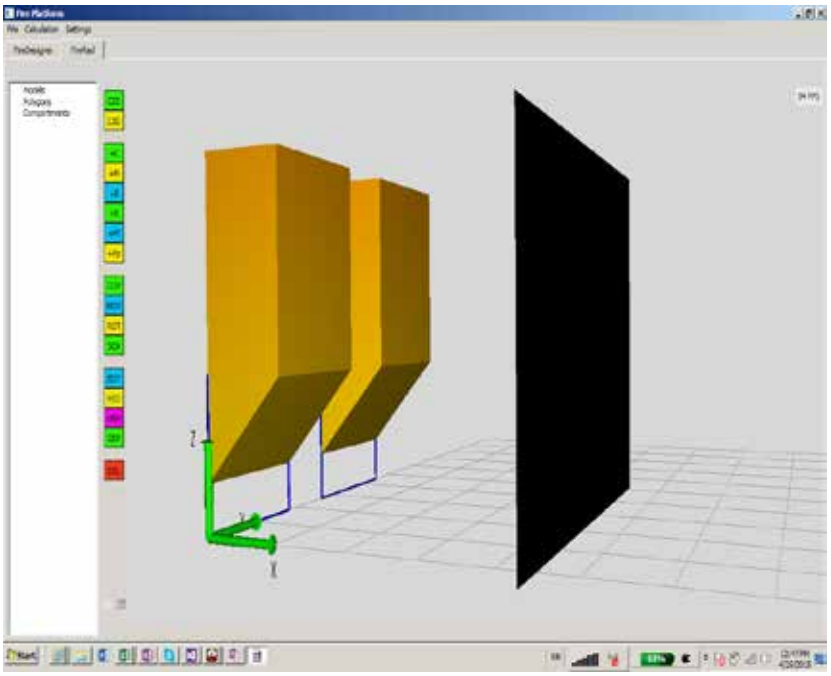
Tabela 2. Podsumowanie badań kanadyjskich [5-6]
Table 2. Summary of Canadian experiments [5-6]

Eksperyment, numer **Experiment, number**	**Exp 10**	**Exp 11**	**Exp 12**
Wielkość otworu [m] / Opening size [m]	1.1x1.45	1.45x1.45	2.5x1.45
Temperatura w pomieszczeniu [^{0}C] / Compartment Temperature (measured) [^{0}C]	958	1083	1050
Temperatura płomieni w otworze [^{0}C] / Flame temperature in opening [^{0}C]	942	1010	1079
Wysokość płomieni ponad otworem [m] / Flame length above the opening [m]	3	2,5	3,2
Strumień ciepła, odl. 3,0m, środek [kW/m^2] / Heat flux, dist. 3.0m, centerline [kW/m^2]	11,82	17,49	28,79
Strumień ciepła, odl. 3.0m, max [kW/m^2] / Heat flux, dist. 3.0m, max [kW/m^2]	13,65	19,45	31,47

4. Porównanie obliczeń i danych eksperymentalnych

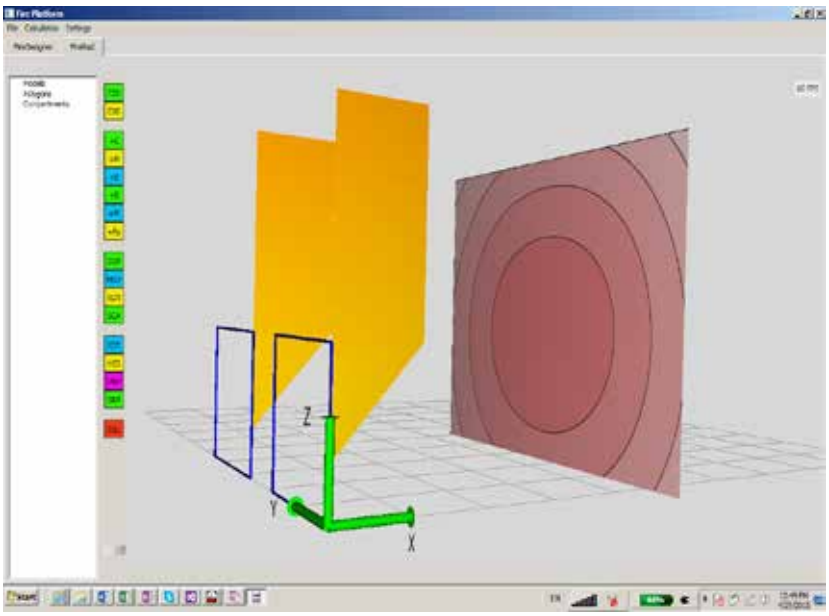
Porównanie wyników obliczeń różnych metod opartych na współczynnikach konfiguracji przeprowadzono przy użyciu programu FireRad. Program ten oblicza rozkłady strumienia ciepła od promieniujących powierzchni o dowolnych kształtach, włączając promieniujące prostokąty i płomienie zewnętrzne.

W przypadku płomieni zewnętrznych metodologia zastosowana w programie FireRad opiera się na podejściu zgodnym z Eurokodem, z możliwością podziału płomienia wzdłuż jego długości na wiele sekcji (w przypadku tego badania – 16). Przykład wizualnej konfiguracji eksperymentalnej FireRad i rozkładu strumienia padającego na eksponowaną powierzchnię przedstawiają ryc. 3 i 4. Wyniki obliczeń zaprezentowano w tabelach 3 i 4 oraz na ryc. 5.



Ryc. 3. Układ eksperymentalny badań czechosłowackich ujęty w programie FireRad (zewnętrzne płomienie z gradientem temperatury)
Fig. 3. Czechoslovakian experimental setup included in FireRad(external flames with thermal gradient)
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5-6].
Source: Own elaboration based on [5-6].

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.11



Ryc. 4. Przykładowe wyniki programu *FireRad* – rozkład strumienia ciepła promieniowania z możliwością odczytu precyzyjnej wielkości strumienia w dowolnym punkcie
Fig. 4. Example results from FireRad – heat flux of radiation with a possibility of reading precise size of the flux in any point
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5-6].
Source: Own elaboration based on [5-6].

Tabela 3. Wyniki obliczeń dla danych z badań czechosłowackich
Table 3. The results of calculation for data obtained during Czechoslovakian tests

	Konfiguracje eksperymentalne – obciążenie ogniowe i odległość radiometru Experimental configurations – fire load and measurement distances											
	40 kg				50 kg				60 kg			
	4.5 m	6 m	8 m	10 m	4.5 m	6 m	8 m	10 m	4.5 m	6 m	8 m	10 m
Temperatura (Temperature) [°C]												
w pomieszczeniu - Eurokod *(Compartment - predicted by Eurocode)*	1021,8				1092,7				1137,7			
w płaszczyźnie otworu okiennego - Eurokod *(Window - predicted by Eurocode)*	1032,3				1032,3				1032,3			
w pomieszczeniu - eksperyment *(Compartment - measured)"*	915,0				957,0				936,0			
Strumień ciepła - promieniujący prostokąt [kW/m²] ***(Heat flux - radiating rectangle [kW/m²])***												
w oparciu o temperaturę prognozowaną (Eurokod) *(based on temperature predicted by Eurocode)"*	10,01	6,44	4,13	2,76	12,39	7,97	5,11	4,92	14,11	9,08	5,82	3,89
w oparciu o temperaturę mierzoną (eksperyment) *(based on measured temperature)"*	6,98	4,49	2,88	1,92	8,15	5,25	3,36	2,25	7,61	4,90	3,14	3,30
Strumień ciepła - zewnętrzne płomienie [kW/m²] ***(Heat flux - external flames [kW/m²])***												
w oparciu o obliczenia (Eurokod) *(based on Eurocode calculations)"*	4,71	3,11	2,01	1,33	4,71	3,11	2,01	1,33	4,71	3,11	2,01	1,33
Strumień ciepła łączny [kW/m²] ***(total heat flux [kW/m²])***												

Mierzony *(measured)*	8,70	5,40	2,50	1,35	12,10	7,00	3,40	1,80	12,20	7,00	3,10	1,70
Prognozowany zgodnie z Eurokodem *(predicted using Eurocode)*	14,73	9,55	6,14	4,09	17,11	11,09	7,12	6,25	18,82	12,19	7,83	5,21
Prognozowany z użyciem temp. Mierzonej *(predicted using measured temperature)*	11,69	7,60	4,89	3,25	12,87	8,36	5,37	3,57	12,32	8,01	5,15	4,63

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5-6].
Source: Own elaboration based on [5-6].

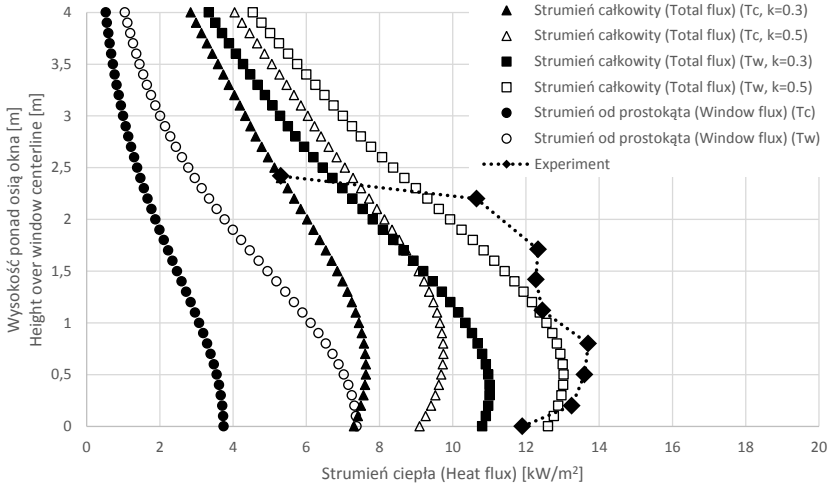
Tabela 4. Wyniki obliczeń dla danych z badań kanadyjskich
Table 4. The results of calculation for data obtained during Canadian tests

	Numer eksperymentu i wielkość otworu *(Experiment number and opening size)*		
	Exp 10 (1.1 x 1.45 m)	Exp 11 (1.45 x 1.45 m)	Exp 12 (2.5 x 1.45 m)
Temperatura (Temperature) [°C]			
w pomieszczeniu - Eurokod *(Compartment - predicted by Eurocode)*	791,2	882,1	1023,0
w płaszczyźnie otworu okiennego - Eurokod *(Window - predicted by Eurocode)*	977,5	995,6	1050,3
w pomieszczeniu - eksperyment *(Compartment - measured)"*	958,0	1083,0	1050,0
Strumień ciepła - promieniujący prostokąt [kW/m²] ***(Heat flux - radiating rectangle [kW/m²])***			
w oparciu o temperaturę prognozowaną (Eurokod) *(based on temperature predicted by Eurocode)"*	3,74	6,97	17,82
w oparciu o temperaturę mierzoną (eksperyment) *(based on measured temperature)"*	7,37	10,13	19,35
Strumień ciepła - zewnętrzne płomienie [kW/m²] ***(Heat flux - external flames [kW/m²])***			
w oparciu o obliczenia (Eurokod) *(based on Eurocode calculations)"*	3,56	4,53	7,47
Strumień ciepła łączny [kW/m²] ***(total heat flux [kW/m²])***			
Mierzony *(measured)*	11,82	17,49	28,79
Prognozowany zgodnie z Eurokodem *(predicted using Eurocode)*	7,30	11,50	25,29
Prognozowany z użyciem temp. Mierzonej *(predicted using measured temperature)*	10,81	14,67	26,82

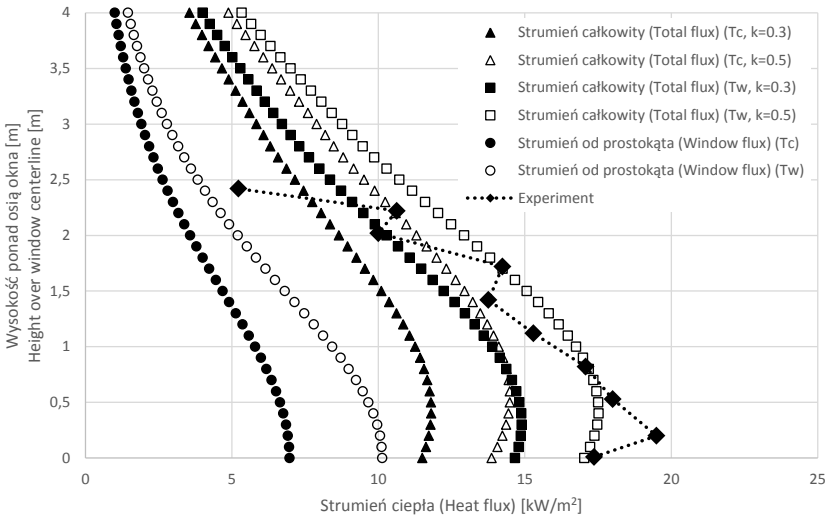
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5-6].
Source: Own elaboration based on [5-6].

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.11

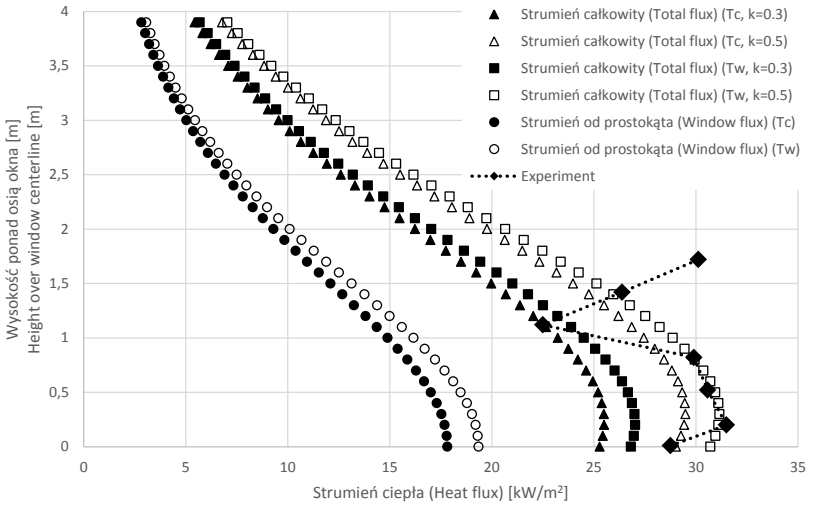
a)



b)



c)



Ryc. 4. Porównanie różnych wariantów wyliczania strumienia ciepła w odniesieniu do wyników badań kanadyjskich w pomieszczeniu z otworem o wielkości: a) 1.1 x 1.45 b) 1.45 x 1.45 c) 2.5 x 1.45m (Tc – temperatura pomieszczenia, Tw – temperatura w płaszczyźnie otworu okiennego, k – współczynnik emisyjności płomieni)
Fig 4. Comparison of various calculation variants of the heat flux in relations to Canadian test results in a room with an opening of: a) 1.1 x 1.45 b) 1.45 x 1.45 c) 2.5 x 1.45m (Tc – compartment temperature, Tw – window temperature, k – flame emissivity coefficient)

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [5-6].
Source: Own elaboration based on [5-6].

5. Omówienie wyników

Wyniki dwóch omawianych w artykule badań zostały otrzymane z wykorzystaniem podobnych, ale w pewnym stopniu różniących się od siebie pomieszczeń badawczych. W badaniach kanadyjskich zmienna jest wielkość otworu, a w czechosłowackich obciążenie ogniowe. Obydwie te wielkości wpływają na charakterystykę pożaru wewnątrz pomieszczenia, temperaturę w pomieszczeniu oraz wielkość i temperaturę płomieni na zewnątrz. Pomieszczenie w badaniach kanadyjskich charakteryzuje się współczynnikami wentylacji 0,018 do 0,041, podczas gdy ten współczynnik dla pomieszczenia czechosłowackiego wynosi 0,062. Przy tej samej mocy pożaru (prędkości wydzielania ciepła) powinno to się wiązać z lepszym dostępem powietrza, większym udziałem procesu spalania wewnątrz pomieszczenia oraz mniejszym promieniowaniem od płomieni zewnętrznych. Nie potwierdza tego jednak temperatura pomieszczenia, która w badaniach czechosłowackich jest niższa. Zdaniem autorów na wyniki w badaniach kanadyjskich znaczący wpływ miała bardzo dobra izolacyjność materiału ściennego. W porównaniu do betonowych ścian pomieszczenia czechosłowackiego, ocieplone ściany pomieszczenia kanadyjskiego pochłaniały mniej ciepła, a co za tym idzie zmierzone temperatury pomieszczenia były wyższe. Widać to również w wynikach obliczeniowych temperatury w pomieszczeniu, które w przypadku badań czechosłowackich są większe niż wyniki eksperymentalne, a w przypadku badań kanadyjskich na odwrót. Niestety nie ma dostępnych danych z badania czechosłowackiego dotyczących wielkości i temperatury płomieni zewnętrznych oraz temperatury w płaszczyźnie okna, dlatego ten aspekt nie może zostać porównywany i omówiony. Należy zwrócić również uwagę na to, że w obydwu badaniach występowały dwa różne zakresy odległości pomiarowych (4,5-10 m w czechosłowackim i 2,4-4 w kanadyjskim). Porównując dokładność predykcji, należy też pamiętać o tym, że na wyniki pomiaru może mieć też wpływ miejsce eksperymentu (przestrzeń otwarta czy hala badawcza) ze względu na panujące w nim warunki środowiska (absorpcja promieniowania, wiatr, temperatura zewnętrzna).

Zgodnie z metodologią modelowania przedstawioną w raporcie kanadyjskim zamiast temperatury pomieszczenia, jako temperaturę prostokąta promieniującego powinno się przyjmować temperaturę płomienia w płaszczyźnie okna (lub temperaturę wyższą spośród tych dwóch). W metodzie wykorzystano także większy współczynnik emisyjności płomieni k (0,5 zamiast 0,3). Zastosowanie powyższych metod poprawia wyniki prognozy wykonywane przez FireRad oraz metodą Eurokodu do poziomu bardzo dobrej zgodności z eksperymentem.

W przypadku danych czechosłowackich przewidywana temperatura w pomieszczeniu, obliczona zgodnie z Eurokodem, okazała się znacznie wyższa niż zmierzona, niezależnie od korekty. Jeżeli jako temperatura promieniującego prostokąta przyjęta zostanie temperatura pomieszczenia, wtedy już sama wielkość strumienia ciepła na bazie promieniującego prostokąta jest zbliżona do łącznego strumienia mierzonego. Oznacza to, że pierwsze wyzwanie w prognozowaniu strumienia ciepła polega na dokładnym prognozowaniu temperatury. W danych czechosłowackich można zauważyć pewną anomalię dla radiometrów znajdujących się w większych odległościach od otworu okiennego (8-10 m), które wydają się znacznie zaniżać wielkość strumienia ciepła, nawet gdy uwzględnimy tylko promieniujący prostokąt. Może to być oznaką złej kalibracji lub absorpcji promieniowania przez powietrze na większych odległościach.

Kanadyjscy badacze sugerują, że udział promieniowania od zewnętrznych płomieni w odniesieniu do całkowitego strumienia ciepła wynosi 20-60% (25-44% w pożarach drewna). Metoda Eurokod pozwala otrzymać zbliżone wartości – 30-50% – w przypadku danych kanadyjskich. Należy przypomnieć, że wielkość udziału promieniowania od płomieni zewnętrznych była już wcześniej szacowana w badaniach eksperymentalnych. Znana badaczka brytyjska Margaret Law [2] w swojej pracy doświadczalnej przy użyciu radiometru ze specjalną osłoną ustaliła ten udział na maksymalnie 20%. W badaniu przeprowadzonym przez Law wykorzystano pomieszczenie o wymiarach 7,7 x 3,7 x 3 m ze współczynnikami wentylacji 0,022, 0,044 i 0,089 i obciążeniem ogniowym 7,5, 15,30 i 60 kg/m^2. Autorka eksperymentu swierdziła, że stosowanie przegród z materiałów izolacyjnych zwiększa strumień ciepła o ok. 15%.

Ważnym pytaniem w odniesieniu do omawianych badań jest to, jakie wielkości strumienia ciepła powinny być porównywane tzn. wielkości maksymalne czy uśredniane. W przypadku obu badań nie jest jasne, jaki rodzaj danych jest ujęty w raportach – maksymalne chwilowe wartości lub uśrednione w czasie. W opinii autorów uproszczone metody powinny uwzględniać poziom uśredniony strumienia ciepła, który może zostać zastosowany do oceny zagrożenia budynków.

6. Wnioski

Najnowsze badania doświadczalne wykonane w Kanadzie wykazują, że promieniowanie cieple od zewnętrznych płomieni może być istotnym źródłem promieniowania cieplnego, lecz nie jest to poparte w takim samym stopniu przez badania czechosłowackie. Zastosowanie izolacji z włókna na ścianach pomieszczenia mogło przyczynić się do powstania wyższych strumieni ciepła w ostatnim eksperymencie kanadyjskim. Kluczowym czynnikiem wpływającym na wyniki predykcji jest dokładność temperatury pomieszczenia i temperatur płomienia w płaszczyźnie otworu. W celu uzyskania najbardziej wiarygodnych wyników, jako temperaturę promieniującego prostokąta należy przyjąć wyższą z dwóch wspomnianych temperatur, a emisyjność płomieni oparzeć na współczynniku k = 0,5. Biorąc pod uwagę rozkład probabilistyczny zewnętrznego promieniowania do celów inżynierskich, metoda oparta na Eurokodzie jest zdaniem autorów wystarczająco konserwatywna (jej wyniki są często zbliżone do pomiarów eksperymentalnych). Dla pomieszczeń o wysokim współczynniku otworów (ang. *opening factor*) promieniowanie od zewnętrznych płomieni jest znacznie niższe i oznacza to, że prostą metodę promieniującego prostokąta można uznać wtedy za wystarczającą.

Bardziej dokładne wyliczenia przestrzennych rozkładów strumieni ciepła mogą okazać się istotne dla optymalizacji projektu budowlanego. Program FireRad udostępnia wiele opcji do obliczeń strumienia ciepła w zależności od założeń i wymagań poszczególnych krajów.

Literatura

[1] Law M., *Heat radiation from fires and building separation*, "Fire Research Technical Paper" 1963, No. 5.
[2] Law M., *Radiation from fires in a compartment*, "Fire Research technical Paper" 1968, No. 20.
[3] Mcguire J.H., *Fire and the spatial separation of buildings*, "Fire Technology" 1965, 1(4), 278-287
[4] Reichel V., *Navrhování požární bezpečnosti staveb - Odstupové vzdálenosti* [ZŠ 16], Česká státní pojišťovna, Praha 1984.
[5] Cheng H., Hadjisophocleous G.V., *Experimental study and modeling of radiation from compartment fires to adjacent buildings*, "Fire Safety Journal" 2012, 53, 43-62.
[6] Cheng H., *Modeling of fire spread in buildings and modeling of fire spread from the fire building to adjacent buildings*, PhD thesis, Carleton Univ., 2010.
[7] EN 1991-1-2: Eurocode 1. Actions on Structures, Part 1-2.
[8] Oprogramowanie Fire Engineering Platform (FEP), http://www.fireplatform.eu, [dostęp: 10.06.2016].

BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 117–126

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.11

* * *

st. kpt. dr inż. Piotr Tofiło – adiunkt w Zakładzie Bezpieczeństwa Pożarowego Budynków w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Prowadzone przedmioty na studiach dziennych, zaocznych i podyplomowych: bezpieczeństwo pożarowe budynków, stosowanie narzędzi inżynierii w zakresie ochrony obiektów przed zadymieniem, stosowanie narzędzi inżynierii w zakresie oceny warunków ewakuacji.

dr hab. inż. Vladimir Mozer – prodziekan Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego ds. rozwoju i współpracy międzynarodowej Uniwersytetu w Żylinie.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 127–142

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.12

kpt. mgr inż. **Mariusz Barański**[1]
dr hab. inż. **Tadeusz Maciak**, prof. PB[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 27.12.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 28.04.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Automaty komórkowe w modelowaniu ewakuacji[3]

Cellular Automata in Evacuation Modelling

Клеточные автоматы при моделировании эвакуации

ABSTRAKT

Cel: Przedstawienie i omówienie modeli automatów komórkowych wykorzystywanych w oprogramowaniu do modelowania ewakuacji i zjawisk jej towarzyszących.
Wprowadzenie: Bezpieczeństwo w budynkach i obiektach budowlanych obejmuje wiele zagadnień. Jednym z nich jest zapewnienie procesu bezpiecznej ewakuacji z zagrożonych budowli. W obliczeniach symulacyjnych ewakuacji szerokie zastosowanie znalazło specjalistyczne oprogramowanie pozwalające na przybliżenie rzeczywistych zjawisk panujących podczas ewakuacji. Programy te pozwalają również na oszacowanie czasu ewakuacji. Obliczenia czasu ewakuacji dokonuje się według określonych algorytmów i modeli. W pracy zaprezentowano możliwości zastosowania jednej z gałęzi informatyki jaką są automaty komórkowe do projektowania modeli pozwalających odwzorowywać ewakuację. Na wstępie zostały zawarte założenia niezbędne do prawidłowej budowy modelu. Następnie przedstawiono rozwój modeli wykorzystujących automaty komórkowe. Autorzy przedstawili również niedoskonałości modeli oraz problemy, które mogą występować podczas implementacji algorytmów opartych na automatach komórkowych. Zaprezentowany materiał w sposób syntetyczny przedstawia elementy, które mogą posłużyć do budowy programów modelujących ewakuację na bazie automatów komórkowych. Jednym z najważniejszych w tym obszarze jest model Floor Field. Model ten podlega ciągłym modyfikacjom i udoskonaleniom. Zastosowanie automatów komórkowych pozwala na modelowanie ewakuacji przy wykorzystaniu znacznie mniejszych zasobów obliczeniowych niż w przypadku modeli agentowych czy Social Force, a dokładność wykonanych obliczeń jest porównywalna. Zrozumienie własności automatów komórkowych ma ogromne znaczenie we właściwym odwzorowaniu procesu ewakuacji przy zastosowaniu tego typu modeli.
Metodologia: Przegląd publikacji, analiza poszczególnych modeli.
Wnioski: W wyniku analizy literatury przedstawiono rozwój modeli na przestrzeni ostatnich lat. Wykazano, że proste modele bazujące na automatach komórkowych mają niską złożoność obliczeniową, co pozwala na modelowanie ewakuacji dla dużej grupy osób przy niewielkiej mocy obliczeniowej komputerów. Prawidłowo zweryfikowany model można stosować do dokładnego szacowania czasu ewakuacji osób z budynków i obiektów budowlanych.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, ewakuacja ludności, modelowanie ewakuacji, automaty komórkowe
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: Presentation and discourse of issues associated with cellular automata models used in evacuation modelling software and accompanying events.
Introduction: Security in buildings and construction works covers many issues. One of these addresses the matter of ensuring a process for the safe evacuation of endangered buildings. Specialized simulation software for approximation of real events, which prevail during an evacuation, was used in calculations. Such software also allows for the estimation of evacuation time. Evacuation time calculations are performed according to specific algorithms and models. This paper reveals the potential use of one branch of computer science, namely cellular automata, to design models, which facilitate the mapping of evacuations. At the outset it was necessary to make essential assumptions for a proper construction of the model. These were followed by the development of models using cellular automata. The authors described the model imperfections and problems, which can occur during implementation of algorithms based on cellular automata. Material revealed by the study shows in a synthetic way the elements, which can be used to build evacuation modelling programmes using cellular automata. One of the most important models in this area is known as Floor Field. This model is exposed to continuous modifications and improvements. The use of cellular automata allows for the modelling of evacuations using much less computational resources than in the case of agent models or Social Force and the accuracy of calculations is comparable. Understanding the properties of cellular automata is of great importance for the correct mapping of the evacuation process when using such models.
Methodology: Review of publications and analysis of individual models.

[1] Komenda Powiatowa Państwowej Straży Pożarnej w Oławie / District Headquarters of the State Fire Service, Oława, Poland; mariusz.baranski@straz.olawa.pl;
[2] Politechnika Białostocka / Bialystok University of Technology, Poland;
[3] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12

Conclusions: An analysis of literature reveals advances made in the development of models during recent years. It is revealed that simple models based on cellular automata have low computational complexity, which permits the modelling of evacuation for a large group of people with low computing power. A properly validated model can be used to estimate the time to evacuate people from buildings and construction works with great accuracy.

Keywords: fire safety, people evacuation, evacuation modelling, cellular automata
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Представление и обсуждение моделей клеточных автоматов, используемых в программном моделировании эвакуации и сопровождающих ее явлений.
Введение: Безопасность в зданиях и на строительных объектах включает в себя множество вопросов. Одним из них является обеспечение процесса безопасной эвакуации из опасных зданий. При моделировании эвакуации широко используется специализированное программное обеспечение, позволяющее приблизить реальные явления, присутствующие во время эвакуации. Эти программы позволяют также оценить время эвакуации. Расчет времени эвакуации осуществляется в соответствии с конкретными алгоритмами и моделями. В статье были представлены возможности использования одной из отраслей информатики, которой являются клеточные автоматы для разработки моделей, изображающих эвакуацию. Первоначально были определены предположения, необходимые для правильного построения модели. Далее представлено развитие моделей, использующих клеточные автоматы. Авторы представили также недостатки моделей и проблемы, которые могут возникнуть в ходе внедрения алгоритмов, основанных на клеточных автоматах. Представленный материал синтетическим путем показывает элементы, которые могут быть использованы для создания программ моделирования эвакуации на основе клеточных автоматов. Одной из самых важных в этой области является модель Floor Field. Эта модель все еще подвергается постоянным изменениям и усовершенствованиям. Применение клеточных автоматов позволяет моделировать эвакуацию, используя гораздо меньше вычислительных ресурсов, чем агентные модели или Social Force, а точность их расчетов сопоставимая. Понимание характеристик клеточных автоматов имеет большое значение в надлежащем отображении процесса эвакуации с использованием таких моделей.
Методология: Обзор публикаций, анализ отдельных моделей.
Выводы: На основе анализа литературы показано развитие моделей на протяжении последних лет. Было показано, что простые модели, основанные на клеточных автоматах, характеризуются низкой вычислительной сложностью, которая позволяет моделировать эвакуации большой группы людей с низкой вычислительной мощностью компьютеров. Должным образом подтвержденная модель может быть использована для точной оценки времени эвакуации людей из зданий и строительных объектов.

Ключевые слова: пожарная безопасность, эвакуация населения, моделирование эвакуации, клеточные автоматы
Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Powstanie komputera na początku dwudziestego wieku otworzyło nowe perspektywy w rozwoju wielu dziedzin nauki. Nowy wynalazek wpłynął także na postęp w dziedzinie bezpieczeństwa pożarowego – umożliwił m.in. modelowanie ewakuacji osób z zagrożonych obiektów. Coraz częściej wyniki specjalistycznych symulacji stanowią ważne źródło wiedzy dla architekta projektującego drogi ewakuacyjne w obiektach użyteczności publicznej.

Zachowanie tłumu i strumienia przemieszczających się osób jest złożonym zjawiskiem będącym wypadkową ruchu jednostek. Pojedyncza osoba w tłumie może reagować na pewne wydarzenia w różny sposób, nieraz zupełnie odmienny, w zależności od jej stanu psychicznego i zewnętrznego uwarunkowania [1]. Awaryjna sytuacja może zmienić zachowanie jednostek w sposób zasadniczy np. w przypadku zagrożenia osoby starające się wydostać z pomieszczenia najbliższymi drzwiami nie zwracają uwagi, że mogą być również dostępne drzwi mniej zatłoczone, przez które ewakuacja byłaby szybsza.

Ogólnie można wyodrębnić dwa główne podejścia do modelowania komputerowego zachowania tłumu: makroskopowe i mikroskopowe. Wśród podejścia makroskopowego można wyróżnić modele bazujące na zasadach hydrodynamiki traktujące tłum jak płyn o laminarnym przepływie [2] oraz potraktowanie osób w zbiorowości jak cząsteczek wykazujących moment dipolowy i poddających się siłom pola magnetycznego [3]. Podejście mikroskopowe, rozwijane od pewnego czasu, polega na modelowaniu pojedynczych osób w tłumie, którym przypisuje się pewien sposób podejmowania decyzji i zachowania zgodnie z określonymi regułami. Można wymienić wśród nich modele oparte na metodach dynamiki molekularnej (Social Force Model) [4-6], sztucznej inteligencji [7], automatach komórkowych (Celluar Automata CA) [8- 11] oraz systemach agentowych [9], [12-14].

Obecnie największe zainteresowanie skupia się na rozwijaniu metod mikroskopowych. Za pomocą mikroskopowych modeli zaprezentowano wiele zjawisk charakterystycznych dla przepływu strumieni pieszych, takich jak tworzenie strug ruchu pieszych [15-16], przejście tłumu przez wąskie gardło (*bottleneck*) [17], czy przecinanie się dwóch strumieni przemieszczających się osób [18]. Takie samoorganizujące się wzorce ruchu pieszych mogą być powielane do pewnego stopnia w innych okolicznościach, gdzie występuje oddziaływanie wzajemne pieszych i brane są pod uwagę warunki otoczenia. Piesi podczas ruchu wzdłuż ścieżki odbierają wzrokowo otoczenie i odpowiednio reagują na zaistniałą sytuację [19-20]. Percepcja wzrokowa i interakcje wynikające z odbioru bodźców środowiskowych są to dwie ważne kwestie wpływające na zachowania ludzi podczas ruchu.

W przypadku automatów komórkowych, każda pojedyncza osoba jest reprezentowana jako węzeł, który zajmuje regularną komórkę siatki [11], [21-22]. W modelu CA czas jest również podzielony na wiele przedziałów, a aktualny stan komórki jest określony przez stany komórek sąsiednich w danym kroku czasowym. Opisując awaryjną ewakuację tłumu w modelu, przyjmuje się szereg fizycznych atrybutów, które obejmują cechy fizyczne, takie jak widoczność znaków ewakuacyjnych, drzwi, okien, oraz bierze się pod uwagę zjawiska psychologiczne występujące przy przemieszczaniu się grupy osób, gdzie piesi mają tendencje do postępowania jeden za drugim (*flow with stream*) [22].

Automaty komórkowe pozwalają na tworzenie modeli i algorytmów o niskiej złożoności obliczeniowej [23]. Modelowanie ewakuacji z obiektów, w których równocześnie może przebywać wiele tysięcy osób jest problematyczne w przypadku stosowania modelu Social Force, który z założenia porównuje parametry każdej ewakuowanej osoby ze wszystkimi pozostałymi uczestnikami. Sytuacja z zastosowaniem modeli

agentowych jest podobna dlatego, że modele agentowe mogą z założenia również dokonywać porównania każdego agenta z każdym innym w danym kroku czasowym. Obniżenie złożoności obliczeniowej i jednocześnie skrócenie czasu obliczania ewakuacji dla dużych grup ludzi można uzyskać poprzez wzajemne porównywanie tylko najbliżej zlokalizowanych względem siebie jednostek ludzkich [24-26].

Automaty komórkowe wykorzystuje szereg programów służących do symulacji ewakuacji jak np.: PedGo, EGRESS 2002, SGEM [27], SimWalk, BYPASS, Exodus, AlpSim, AENEAS [11], Simulex, Steps, [28] oraz Pathfinder i TIMTEX [29]. Ciekawym przykładem wykorzystania automatów komórkowych w modelowaniu ewakuacji jest praca [30]. Autor prezentuje w niej możliwość modelowania ewakuacji stadionu piłkarskiego w programie PedGo.

Modelowanie ewakuacji wykonuje się niejednokrotnie na potrzeby ekspertyz technicznych w przypadku stosowania rozwiązań zamiennych zapewniających niepogorszenie warunków ochrony przeciwpożarowych w budynkach i obiektach budowlanych [31-33].

Poniższa praca prezentuje możliwości zastosowania modeli automatów komórkowych do modelowania ewakuacji tłumu. Zawarto w niej informacje niezbędne do zrozumienia zasady działania automatu komórkowego oraz przedstawiono rozwój modeli wykorzystujących automaty komórkowe w zakresie ewakuacji. Autorzy zwrócili również uwagę na niedoskonałości modeli komórkowych oraz problemy mogące występować podczas implementacji algorytmów opartych o automaty komórkowe. Szczególną uwagę zwrócono na model Floor Field, szeroko wykorzystywany w procesie symulacji ewakuacji pieszych.

2. Definicja automatu komórkowego

W literaturze występuje kilka definicji automatu komórkowego proponowanych między innymi przez Ferbera [34], Wolframa [35], Weimara [36], czy Fredkina [37].

Przykładowo jako miarodajne określenia można przywołać:

- Definicję Ferbera: „Automat komórkowy jest dyskretnym, dynamicznym systemem, którego zachowanie jest całkowicie określone w warunkach lokalnych relacji".
- Definicję Wolframa: „Automat jest zbiorem „barwnych" komórek na rastrze o określonym kształcie, który rozwija się w wielu dyskretnych krokach czasowych według określonych reguł w oparciu o stan sąsiednich komórek. Zasady są następnie stosowane poprzez wielokrotne iteracje aż do osiągnięcia żądanego czasu".

Klasyczne automaty komórkowe są to tzw. automaty homogeniczne (jednorodne). Aby możliwe było modelowanie systemów złożonych i tym samym ewakuacji, niezbędne jest odejście od klasycznej definicji automatu komórkowego i posłużenie się automatem niehomogenicznym [11]. W rozprawie doktorskiej [11] zaproponowano nową definicję automatu komórkowego ze stałą siatką (CAL_{const}) oraz rozszerzonego automatu komórkowego ($ECAL_{const}$).

Automat komórkowy niehomogeniczny ze stałą siatką definiuje siedem parametrów:

$$CAL_{const} = (C, R_p, \eta, S, CON, r, f) \quad (1)$$

gdzie:
C – zbiór komórek siatki,
R_p – relacja przyległości,
η – funkcja sąsiedztwa,
S – zbiór stanów komórek,
CON – zbiór konfiguracji komórek,
r – lokalna reguła,
f – funkcja przejścia.

Rozszerzony automat komórkowy został zaproponowany w celu modelowania inteligentnych zachowań jednostek poruszających się w tłumie. Regułami uwzględniającymi inteligentne zachowania może być wybór wyjścia ewakuacyjnego w oparciu o analizę zatłoczenia przy poszczególnych wyjściach ewakuacyjnych czy odległość od poszczególnych wyjść. Rozszerzony automat komórkowy niehomogeniczny autor pracy [11] definiuje jako:

$$ECAL_{const} = (C, R_p, \eta, S, CON, r_{ext}, f) \quad (2)$$

gdzie:
C, R_p, η, S, CON – oznaczenia identyczne jak przy CAL_{const},
r_{ext} – lokalna reguła,
f – funkcja przejścia (w której jest istotna kolejność aktualizacji stanów komórek).

Istotną kwestią jest sposób reprezentacji ludzi, pieszych w modelach. Podstawowym sposobem reprezentacji pieszego w automacie komórkowym jest przypisanie osoby do geometrycznych wymiarów komórki automatu. W takim przypadku osoba zajmuje jedną komórkę automatu [10]. Założenie takie bardzo upraszcza odwzorowywaną w modelu rzeczywistość. Efektem tego jest dyskretyzacja gęstości rozmieszczenia osób podczas ewakuacji. Kolejnym sposobem reprezentacji pieszego w modelu jest przedstawienie rzutu pionowego człowieka jako wieloboku zajmującego kilka komórek automatu [38-39]. Alternatywą dla dwóch poprzednich reprezentacji jest użycie elipsy [11] lub okręgu [40]. Założenie takie skutkuje koniecznością rozbudowy reguł przejść i możliwych kombinacji ustawień pieszych na przestrzeni automatu. Część modeli pozwala na reprezentowanie osoby jako punktów na siatce [41].

Modelowane w automacie osoby muszą przemieszczać się w określonej przestrzeni. Podstawowym sposobem podziału przestrzeni ewakuacji jest jego podział na kwadraty [10]. Pojedynczy kwadrat lub ich zbiór [38-39] może odzwierciedlać przestrzeń zajmowaną przez jedną osobę. Przestrzeń ewakuacji dzielona jest również przy użyciu siatki jak w przypadku modelu omówionego w punkcie 4.7.

Realizacja ruchu osób w automacie opiera się o reguły przejść. Podstawowym sposobem jest przemieszczanie osób w oparciu o prawdopodobieństwo obliczeniowe [10]. Mechanizmy ruchu są zagadnieniem złożonym i wiążą się z rozwiązaniem wielu problemów omówionych w rozdziale 5. Występuje wiele wariantów ruchu, które szerzej omówione zostaną podczas prezentacji poszczególnych modeli.

3. Klasyfikacja automatów komórkowych

Automaty można podzielić według wielu kryteriów. Podstawowe kryteria klasyfikacji klasycznych automatów komórkowych to m.in.: typ siatki, struktura komórek, sąsiedztwo komórek, reguły przejścia czy też reguły aktualizacji automatu. Aby modelować proces ewakuacji niezbędne jest rozszerzenie klasycznej definicji automatu komórkowego. Niehomogeniczne automaty komórkowe mogą zawierać takie elementy jak dodatkowe reguły przejść obejmujące inne komórki niż bezpośrednio sąsiadujące lub dodatkowe siatki wykorzystywane podczas określania warunków przejścia.

3.1. Typ siatki, struktura komórek i sąsiedztwo

Jednym z podstawowych elementów charakteryzujących automat jest typ siatki. Siatka składająca się z komórek może zostać zorganizowana w jednym, w dwóch lub trzech wymiarach. Automaty jednowymiarowe składają się z sąsiadujących ze sobą komórek tworzących linię. Jest to najdokładniej zbadana grupa automatów [42]. Przykładem wykorzystania

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12

automatów jednowymiarowych są prace Nagela i Schreckenberga [43-44]. Zaproponowali oni model ruchu pojazdów na autostradzie oparty na jednowymiarowym automacie komórkowym.

Kolejną grupą są automaty dwuwymiarowe. Ten typ siatki jest najczęściej stosowany do symulacji ewakuacji. Większość analizowanych przypadków bazuje na rzucie dwuwymiarowym pomieszczeń budynku z którego ewakuują się zagrożone osoby. Wstęp do symulacji ewakuacji z wykorzystaniem automatów dwuwymiarowych przedstawiono w publikacji [10].

Wyróżnić należy również automaty trójwymiarowe. Są one niezastąpione w badaniach wymagających analizy zjawisk w przestrzeni. W [45] zwrócono uwagę na konieczność stosowania automatów trójwymiarowych w przypadku symulacji ewakuacji z pomieszczeń, w których względna wysokość podłoża jest zmienna. Zastosowanie tego typu siatki przedstawiono w pracy [46-47].

W automatach komórkowych jedno- i dwuwymiarowych stosuje się siatki kwadratowe [10], [48], sześciokątne [49-50] i trójkątne [51]. Analogicznie automaty trójwymiarowe zbudowane mogą być z brył foremnych. Podstawową bryłą jest sześcian [52].

W automatach dwu- i trójwymiarowych wyróżnia się następujące rodzaje sąsiedztwa [53]:

- sąsiedztwo von Neumanna,
- sąsiedztwo Moore'a,
- sąsiedztwo Margolusa [54].

3.2. Reguły przejść

Do właściwego zastosowania automatu niezbędne jest określenie reguł przejść, które pozwalają na zmianę pozycji zajętej komórki w kolejnym kroku czasowym. Reguły za [55] można podzielić na stochastyczne i deterministyczne.

Reguły stochastyczne opierają się w całości na teorii prawdopodobieństwa. Docelowa komórka, do której przejdzie osoba wybierana jest po obliczeniu największego prawdopodobieństwa spośród wszystkich sąsiadów. W przypadku postania sytuacji kolizji tworzona jest nowa macierz tzw. macierz kolizji (*collision matrix*), dla której również obliczane jest prawdopodobieństwo odnoszące się do poszczególnych pól. Prawdopodobieństwa w ramach danej macierzy poddawane są normalizacji w taki sposób, że ich suma zawsze jest równa 1.

Deterministyczne reguły przejść w przeciwieństwie do stochastycznych nie opierają się na prawdopodobieństwie. Dlatego też są całkowicie przewidywalne, a co za tym idzie dla danego układu wejściowego wynik będzie taki sam.

3.3. Metody aktualizacji automatu

Zakres oraz kolejność aktualizacji poszczególnych komórek w automacie może odbywać się w oparciu o odmienne reguły. Analizując reguły aktualizacji automatu komórkowego, możemy wyróżnić dwa rodzaje [11]:

- synchroniczny – automat, w którym cała siatka automatu komórkowego aktualizowana jest równocześnie;
- asynchroniczny – automat, w którym aktualizacja siatki automatu odbywa się w określonej kolejności. Do tej grupy automatów komórkowych należą:
  - automat aktualizowany krokowo – gdzie aktualizacja poszczególnych komórek automatu dokonywana jest w określonym porządku,
  - automat aktualizowany czasowo – gdzie aktualizacja poszczególnych komórek następuje w określonej chwili czasowej. W danym kroku czasowym może być wykonana aktualizacja tylko części wybranych komórek.

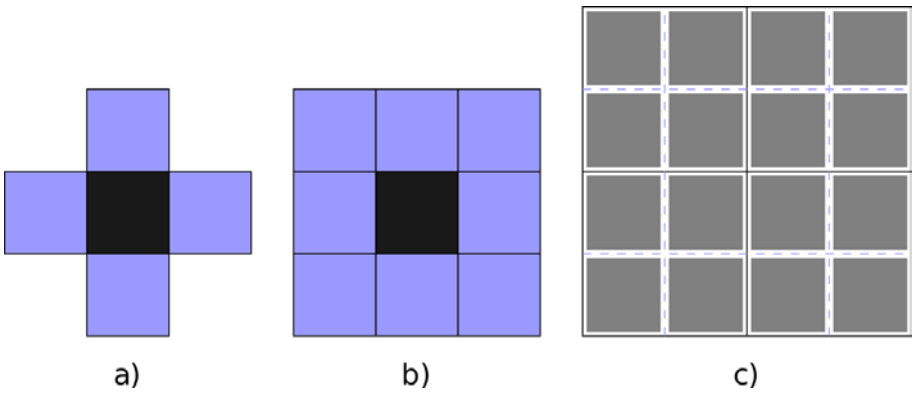
Na etapie implementacji modelu możliwe jest zastosowanie tablicy, którą aktualizuje się według przedstawionych reguł aktualizacji lub zastosowanie abstrakcyjnego typu danych – kolejki priorytetowej [56-57].

4. Modele

Wstęp do modeli ewakuacji stanowią wspomniane już prace Nagela i Schreckenberga [43-44], którzy przy wykorzystaniu automatów jednowymiarowych badali ruch pojazdów na autostradzie i ruch dwutorowy. Jedną z pierwszych prac z zastosowaniem automatu komórkowego do symulacji dwukierunkowego ruchu pieszych jest publikacja Blue i Adler [58]. Autorzy opatrzyli swój model nazwą CA-Ped. Pozwala on na modelowanie trzech trybów ruchu:

a) odseparowanych kierunków ruchu,
b) przeplatanych kierunków ruchy,
c) dynamicznego wielotorowego ruchu (*dynamic multi-lane*).

Kolejny model, który pozwala na odwzorowanie ewakuacji ludzi przy zastosowaniu dwuwymiarowego automatu komórkowego, został przedstawiony w [10]. Jest to podstawowy model Floor Field. Na bazie automatów komórkowych rozwinął się również model gazu sieciowego Lattice Gas [59-60]. Powstały także prace badające ruch dwukierunkowy [61]. Inni autorzy [25] do modelowania ewakuacji zainspirowali się bioniką, interdyscyplinarną nauką badającą budowę i zasady działania organizmów oraz ich adaptowanie w technice. Koncepcji na przestrzeni kilku lat powstało bardzo wiele [62-68].



Ryc. 1. Sąsiedztwo w automatach komórkowych: a) sąsiedztwo von Neumanna, b) sąsiedztwo Moore'a, c) sąsiedztwo Margolusa – linią ciągłą bloki komórek w czasie t_n, linią przerywaną bloki komórek w czasie t_{n+1}

Fig. 1. The neighborhood of the cellular automata: a) von Neumann neighborhood, b) Moore neighborhood, c) Margolus neighborhood – cell blocks along the continuous line at the time t_n, cell blocks along the broken line at the time t_{n+1}

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Zastosowanie automatów komórkowych do modelowania ewakuacji znalazło szerokie uznanie.

W dalszej części artykułu przedstawione zostaną wybrane modele, które są przedmiotem badań na przestrzeni ostatnich lat.

4.1 Podstawowy model Floor Field

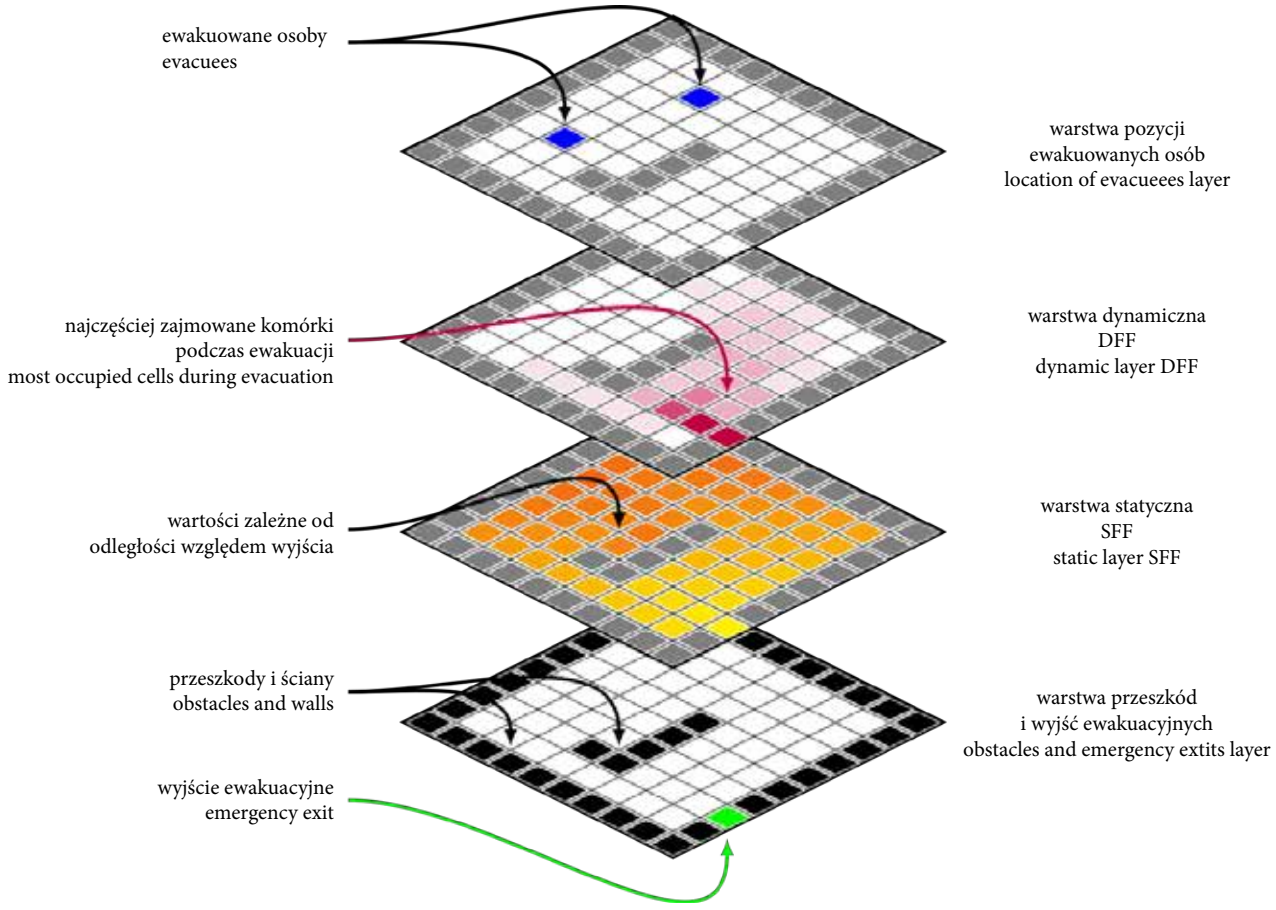
Autorzy publikacji [10] wprowadzili dodatkowe założenia do opisu automatu komórkowego, uzupełniając podstawową warstwę o dwie dodatkowe tj. warstwę pola statycznego (*static floor field*) oraz warstwę pola dynamicznego (*dynamic floor field*). Na podstawie wartości pól tych warstw określany jest ruch osób na płaszczyźnie automatu komórkowego. Wprowadzone do modelu założenia powodują, że automat komórkowy staje się automatem niehomogenicznym. Reguły aktualizacji automatu komórkowego różnią się w zależności od miejsca na siatce. Spowodowane jest to zmianą wartości pola statycznego w stosunku do odległości od wyjść ewakuacyjnych.

Model Floor Field podlega ciągłym modyfikacjom i przekształceniom w celu jak najlepszego odwzorowania rzeczywistości. Kolejno wzbogacono wspomniane założenia o dalsze dodatkowe warstwy. W pracy [69] wprowadzono warstwę pola pożaru (*fire floor field*). Ewakuowani muszą unikać pożaru, dlatego wybór komórek blisko pożaru jest mniej prawdopodobny niż zlokalizowanych daleko. Wartości komórek warstwy pożaru muszą w związku z tym być odwrotnie proporcjonalne do wartości prawdopodobieństwa zajęcia tej komórki przez osobę. W innym wariancie modelu Floor Field oprócz warstwy statycznej i dynamicznej wprowadzono warstwę sił odpychających pomiędzy ewakuowanymi osobami (*repulsive force of occupants*) i warstwę sił przyciągających pomiędzy osobami (*atraction of occupants*) [22]. Dodatkowe warstwy pozwalają na dokładniejsze odwzorowanie ewakuacji podczas zagrożenia. Rozszerzając wpływ pożaru na ewakuujące się osoby, można w automacie komórkowym zadeklarować dowolną warstwę zawierającą parametry pożaru wpływające na ewakuujące się osoby. W [70] autorzy rozbudowali model automatu komórkowego do symulacji ewakuacji o warstwę przechowującą temperaturę (*temperature floor field*) i widzialność (*visibility floor field*).

Warstwa statyczna przechowuje wartości niezmieniające się wraz z działaniem automatu. Są to wartości odległości danej komórki od najbliższego wyjścia ewakuacyjnego. W procesie określania wartości pól warstwy statycznej powstało wiele koncepcji, propozycji, metryk. Jedną z podstawowych metryk przy ustalaniu wartości jest metryka Manhattan [71] – rycina 3a. Podczas określania wartości sumuje się różnicę współrzędnych komórki wyjścia ewakuacyjnego oraz komórki, dla której wartość jest obliczana.

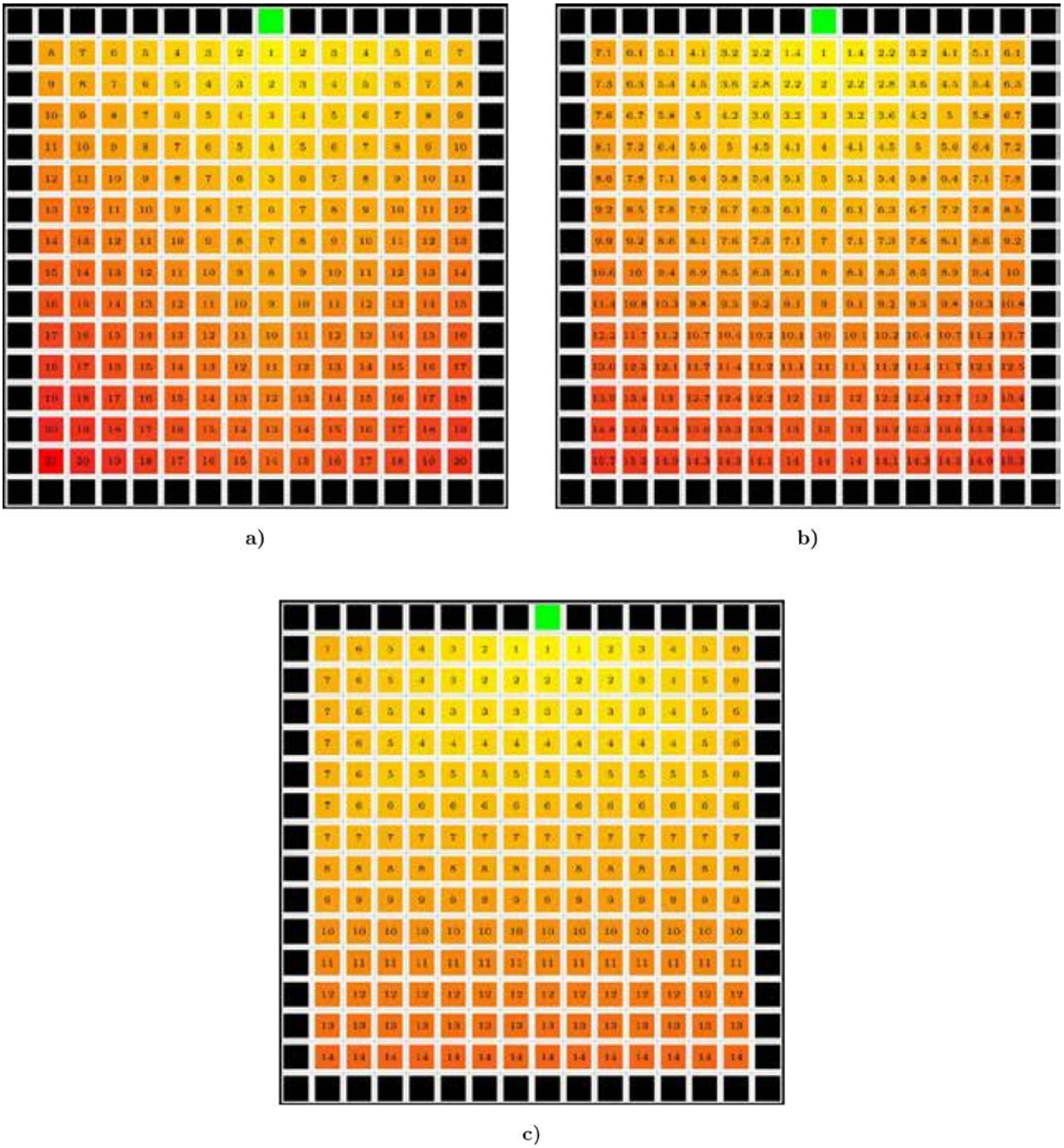
$$S_{xy} = |x_{exit} - x| + |y_{exit} - y| \tag{3}$$

gdzie:
S_{xy} – wartość pola statycznego o współrzędnych xy,
x_{exit} – współrzędna x wyjścia ewakuacyjnego,
y_{exit} – współrzędna y wyjścia ewakuacyjnego,
x, y – współrzędne pola, dla którego obliczana jest wartość.



Ryc. 2. Przykładowe warstwy pól automatu komórkowego służącego do symulacji ewakuacji
Fig. 2. Examples of cellular automaton field layers used to simulate an evacuation
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12



Ryc. 3. Wartości pól warstwy statycznej ustalone zgodnie z metryką: a) Manhattan, b) euklidesową, c) Czebyszewa.
Fig. 3. Static field layer values determined in accordance with the metric: a) Manhattan, b) Euclidean c) Chebyshev
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [71]
Source: Own elaboration based on [71]

Kolejny sposób określania odległości poszczególnych pól warstwy statycznej od wyjścia ewakuacyjnego opiera się o metrykę euklidesową [71]. Pozwala ona na dokładniejsze odwzorowanie odległości pomiędzy poszczególnymi komórkami a wyjściami ewakuacyjnymi. Metryka ta bazuje na twierdzeniu Pitagorasa do określania wartości pól.

$$S_{xy} = \sqrt{(x_{exit} - x)^2 + (y_{exit} - y)^2} \quad (4)$$

gdzie:
S_{xy} – wartość pola statycznego o współrzędnych xy,
x_{exit} – współrzędna x wyjścia ewakuacyjnego,
y_{exit} – współrzędna y wyjścia ewakuacyjnego,
x, y – współrzędne pola, dla którego obliczana jest wartość,

Możliwości określania wartości pól warstwy statycznej na tym się nie kończą. W pracy [71] autorzy wprowadzają ogólny wzór dla określania dystansu w dwuwymiarowych automatach:

$$S_{xy} = \sqrt[1/p]{(x_{exit} - x)^p + (y_{exit} - y)^p},\ p \in R_+ \quad (5)$$

gdzie:
S_{xy} – wartość pola statycznego o współrzędnych xy,
x_{exit} – współrzędna x wyjścia ewakuacyjnego,

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 112717–142
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12

y_{exit} – współrzędna y wyjścia ewakuacyjnego,
x, y – współrzędne pola, dla którego obliczana jest wartość,

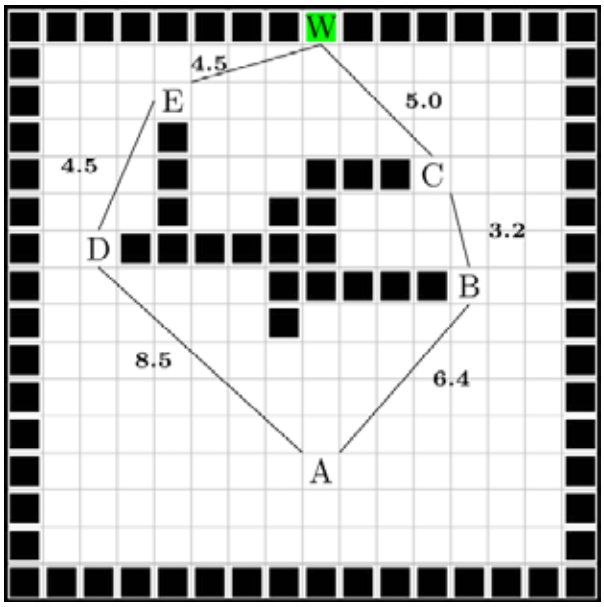
Dla zmiennej p=1 otrzymujemy metrykę Manhattan, a dla wartości p=2 metrykę euklidesową. Zmienna *p* może przyjmować kolejne wartości dążące do nieskończoności w zależności od potrzeb przy budowaniu automatu komórkowego. Graniczną wartością odległości S_{xy} przy założeniu zmiennej *p* dążącej do nieskończoności jest wartość maksymalna różnicy współrzędnych pola i wyjścia ewakuacyjnego. Ten sposób definiowania wartości komórek warstwy statycznej jest nazywany metryką Czebyszewa:

$$S_{xy} = \lim_{p\to\infty}\left(\sqrt[p]{(x_{exit}-x)^p+(y_{exit}-y)^p}\right) = max(|x_{exit}-x|,|y_{exit}-y|) \quad (6)$$

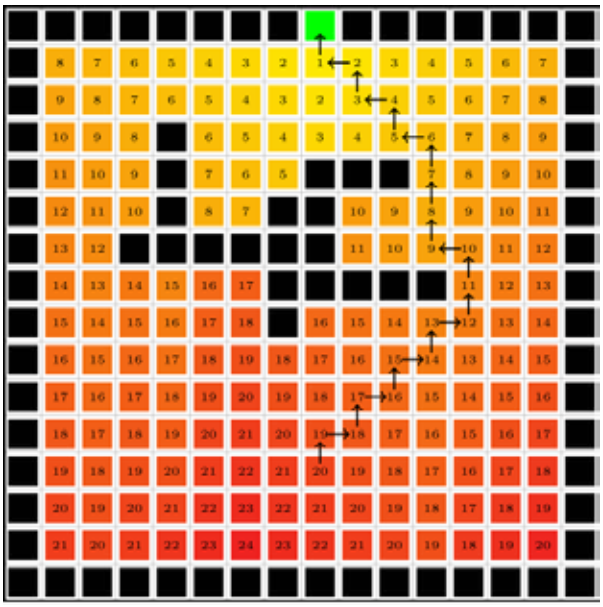
Wszystkie wspomniane metryki można łatwo stosować w prostych pomieszczeniach niezawierających przeszkód. Przedstawione powyżej sposoby definiowania wartości pól warstwy statycznej nie są jedyne. Autorzy [72] w swoim opracowaniu założyli metodę bazującą na procentowym udziale wartości pól określonych dla sąsiedztwa Moore'a oraz von Neumanna.

Dla pomieszczeń, w których występują przeszkody, konieczne jest stosowanie algorytmów wyboru najkrótszej drogi. Jeden z takich algorytmów zaproponował Dijkstra [73]. Podstawą algorytmu jest teoria grafów. Określenie najkrótszej drogi do wyjścia polega na porównaniu wartości wszystkich możliwych przejść w grafie pomiędzy polem, z którego prowadzimy ewakuacją a wyjściem ewakuacyjnym.

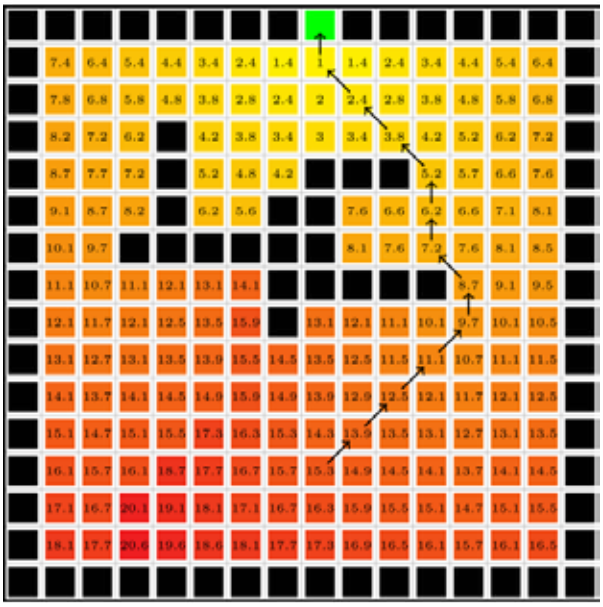
Graficznie sposób określania najkrótszej drogi przedstawia rycina 4. Punkty (A, B, C, D, E, W) w teorii grafów są wierzchołkami grafu, natomiast odległości węzłami. Z punktu A do wyjścia ewakuacyjnego (W) prowadzą dwie drogi. Jedna przechodzi przez punkty A-B-C-W druga A-D-E-W. Pomiędzy punktami określono najmniejsze odległości. Najkrótsza droga to ta, dla której suma wszystkich odległości jest najmniejsza. W prezentowanym przykładzie odległość A-B-C-W wynosi 14,6, natomiast dla drogi A-D-E-W wynosi 17,5. W tej sytuacji osoba ewakuująca się z pola A powinna przebyć drogę A-B-C-W prowadzącą do wyjścia ewakuacyjnego. Rycina 4 przedstawia ogólną zasadę określania najkrótszej drogi. Na rycinie 5 przedstawiono warstwę statyczną obliczoną z wykorzystaniem algorytmu Dijkstra dla pomieszczenia z ryciny 4. Przy uwzględnieniu sąsiedztwa von Neumanna (ryc. 5a) wartości pól są wartościami całkowitymi ze względu na przejścia tylko w dwóch kierunkach. Przedstawiono na niej również drogę, jaką musi przebyć ewakuowana osoba. Natomiast przy uwzględnieniu sąsiedztwa Moore'a wartości są zależne od tego, czy pokonujemy odległość pomiędzy ko-



Ryc. 4. Graficzna prezentacja zastosowania algorytmu Dijkstra do określania najkrótszej drogi do wyjścia ewakuacyjnego.
Fig. 4. Graphical representation of the Dijkstra algorithm application used to determine the shortest route to an emergency exit
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration



a)



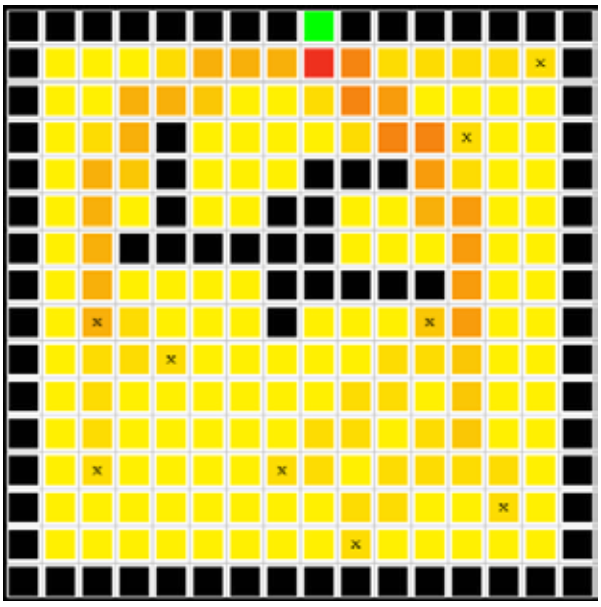
b)

Ryc. 5. Wartości pól warstwy statycznej przy zastosowaniu algorytmu Dijkstra (a – dla sąsiedztwa von Neumanna, b – dla sąsiedztwa Moore'a)
Fig. 5. Static layer field values using the algorithm Dijkstra (a - for von Neumann neighborhood, b - for Moore neighborhood)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration

BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 127–142
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12

mórkami w pionie i w poziomie, czy na ukos. W przypadku przejść pionowych i poziomych wartość odległości jest równa 1. Natomiast przy przejściach skośnych wartość jest równa √2. Podczas obliczania zawsze przyjmuje się mniejszą z otrzymanych wartości. Ze względu na zastosowanie sąsiedztwa Moore'a przy przemieszczaniu się osoby uwzględnia się przejścia po ukosie. Liczba przejść w tym przypadku (ryc. 5b) będzie mniejsza niż w przypadku zastosowania sąsiedztwa von Neumanna (ryc. 5a).

Warstwa dynamiczna podlega ciągłej aktualizacji w każdym kolejnym kroku czasowym pracy automatu komórkowego. Wartość komórek warstwy dynamicznej w chwili inicjacji automatu wynosi 0. W przypadku każdego przejścia do komórki osoby ewakuowanej jej wartość jest zwiększana o 1. W ten sposób powstaje swego rodzaju warstwa przechowująca ślady przemieszczania się poszczególnych osób na płaszczyźnie automatu – rycina 6. Komórka bezpośrednio przed wyjściem ewakuacyjnym będzie miała największą wartość z tego względu, że wszystkie ewakuowane osoby przez nią przechodzą zwiększając za każdym razem jej wartość. Na rysunku gwiazdką zaznaczono miejsca, z których ewakuowano poszczególne osoby. Natomiast odcienie komórek od żółtego do czerwonego wskazują na wzrost wartości poszczególnych komórek od 0 do 9, gdyż przez komórkę naprzeciw wyjścia ewakuacyjnego przeszło 9 ewakuujących się osób.



Ryc. 6. Przykład warstwy dynamicznej po ewakuacji dziewięciu osób z komórek oznaczonych literą x
Fig. 6. An example of a dynamic layer after the evacuation of nine people from cells marked by letter x
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Aby model *Floor Field* działał prawidłowo niezbędne jest określenie w formie oddzielnej warstwy przeszkód, ścian i wyjść ewakuacyjnych (ryc. 2). Wartości z tej warstwy są wykorzystywane w celu przeciwdziałania zajęcia komórki, dla której zadeklarowano przeszkodę. Zabezpiecza to przed sytuacją niemożliwą do wystąpienia w rzeczywistości, czyli wejście osoby w przestrzeń zajmowaną przez ścianę lub inną przeszkodę na drodze ewakuacyjnej.

Kalkulacja przejść odbywa się w oparciu o powyższe warstwy. W celu określenia komórki, do której ma nastąpić przejście obliczane jest prawdopodobieństwo p_{ij}. Obliczenia w zależności od założeń autorów mogą być różnorodne. Najbardziej powszechną regułę przejść zaprezentował Burstedde w pracy [10]:

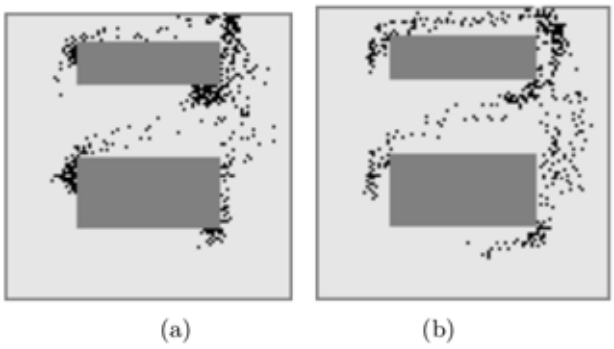
$$p_{ij} = NM_{ij}\exp(\alpha D_{ij})\exp(\beta S_{ij})(1-n_{ij})d_{ij} \quad (7)$$

gdzie:
p_{ij} – prawdopodobieństwo przejścia do komórki o współrzędnych (i, j),
N – współczynnik normalizacji pozwalający na proporcjonalne sprowadzenie prawdopodobieństw do takich wartości przy których $\Sigma(p_{ij}) = 1$,
M_{ij} – macierz dla komórki podstawowej wraz z jej sąsiadami,
D_{ij} – wartości warstwy dynamicznej,
S_{ij} – wartości warstwy statycznej,
n_{ij} – dodatkowe wartości określające czy komórka nie jest zajęta przez przeszkodę,
α – współczynnik wpływu wartości pola statycznego na wartość prawdopodobieństwa przejścia,
β – współczynnik wpływu pola dynamicznego na wartość prawdopodobieństwa przejścia,
d_{ij} – zmienna określająca czy dana komórka nie jest zajęta przez inną osobę.

Analogicznie dla modeli posiadających dodatkowe warstwy kalkulacja prawdopodobieństwa przejścia uwzględnia wszystkie pozostałe warstwy, nie tylko warstwę statyczną i dynamiczną.

4.2 Rozszerzony model Floor Field

Model wprowadzony przez Nishinari [62] w głównych założeniach opiera się na modelu Floor Field. Autorzy przeanalizowali podstawowe właściwości metryk pola statycznego oraz zaproponowali dodatkową regułę uwzględniającą wpływ ścian i przeszkód na ewakuujące się osoby. Wprowadzili również efekt bezwładności określający tendencję pieszych do zachowania preferowanego kierunku ruchu i prędkości przemieszczania.



Ryc. 7. Etap ewakuacji pomieszczenia przy zastosowaniu modelu *Extended Floor Field* (a – brak wpływu ścian na ewakuujące się osoby, b – wpływ ścian na ewakuujące się osoby) [62].
Fig. 7. Area evacuation phase using the Extended Floor Field model (a – lack of impact from walls on evacuated people, b – an impact of walls on evacuated people) [62]

Uwzględnienie wpływu ścian i przeszkód pozwala na bardziej realistyczne odwzorowanie zachowań ludzi w pobliżu narożników i zwężeń drogi ewakuacyjnej. Prawdopodobieństwo przejścia w tym modelu obliczane jest na podstawie równania:

$$p_{ij} = N\exp(k_D D_{ij})\exp(k_S S_{ij})p_I(i,j)p_W \quad (8)$$

gdzie:
N – współczynnik normalizacji,
k_S – współczynnik wpływu wartości pola statycznego,
k_D – współczynnik wpływu wartości pola dynamicznego,
S_{ij} – wartości warstwy statycznej,

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 127–142
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12

D_{ij} – wartości warstwy dynamicznej,
p_I – współczynnik efektu bezwładności,
p_W – wartości warstwy potencjału ścian i przeszkód.

Uwzględnienie przez autorów wpływu ścian na ewakuujące się osoby zwiększyło dokładność odzwierciedlenia procesu ewakuacji. Graficzne porównanie efektu przedstawia ryc. 7.

4.3. Zmodyfikowany model Floor Field

W przypadku wielu wyjść ewakuacyjnych oraz przeszkód wewnątrz pomieszczenia wśród osób ewakuowanych można obserwować niepewność odnośnie odnalezienia wyjścia ewakuacyjnego. Huang [63] i inni wprowadzili modyfikację modelu Floor Field, która uwzględnia niepewność wyboru i odnalezienia wyjścia ewakuacyjnego. Niepewność ta jest szacowana przy użyciu równania:

$$Q_{i,j}^{m} = \frac{\exp(\Theta S_{i,j}^{m})}{\sum_{l}\exp(\Theta S_{i,j}^{l})} \tag{9}$$

gdzie:

$Q_{i,j}^{m}$ – prawdopodobieństwo wyboru wyjścia ewakuacyjnego m przez osobę zajmującą komórkę (i,j),

Θ – parametr percepcji wyjścia ewakuacyjnego,

$S_{i,j}^{m}$ – wartość warstwy statycznej dla pola ij względem wyjścia m,

$S_{i,j}^{l}$ – wartość warstwy statycznej dla najczęściej wybieranego wyjścia,

Autorzy modelu wykazali, że znajomość wyjść ewakuacyjnych oraz ich rozmieszczenie ma decydujący wpływ na czas ewakuacji. Ponadto równomierne rozmieszczenie drzwi ewakuacyjnych wpływa na skrócenie czasu ewakuacji niezależnie od wiedzy ewakuujących się osób o ich odległości.

4.4. Model Proxemic Floor Field (PFF)

Wzajemny wpływ relacji przestrzennych między ewakuującymi się osobami ma bardzo duże znaczenie w procesie ewakuacji. Dystanse i oddziaływania społeczne są podstawowym elementem modelu Social Force. Autorzy [64,-65] rozbudowując model Floor Field, uzupełnili go o elementy proksemiki. W pracy [64] wprowadzono nową warstwę uzależnioną od odległości względem innej osoby nazwaną Proxemic Floor Field. Kalkulacja pola PFF odbywa się w oparciu o równania:

$$P_{i,j}^{k} = \frac{1}{(r_{ij}^{k})^{2}} \tag{10}$$

$$P_{i,j} = \sum_{k} P_{ij}^{k} \tag{11}$$

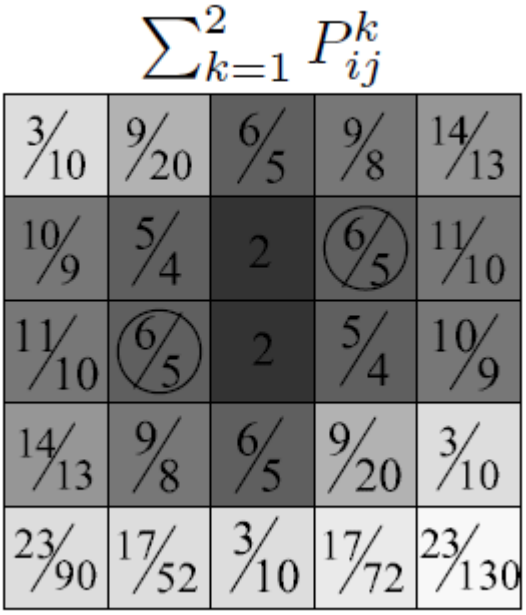
gdzie:

r_{ij}^{k} – promień odległości od osoby k,

$P_{i,j}^{k}$ – wartość pola *PFF* dla osoby k,

$P_{i,j}$ – wartość pola *PFF* dla komórki (i,j) wyznaczonej przez wszystkie osoby

Pola o małej wartości są bardziej preferowane przez ewakuujące się osoby. Dla przykładu z ryciny 8 pola o wartości 2 nie są atrakcyjne, a ich zajęcie przez osoby w kolejnym kroku czasowym będzie mało prawdopodobne. Przejście osób do pól o wartości 2 wiązałoby się z naruszeniem strefy intymnej. Przejście takie jest możliwe jedynie przy występowaniu tłumu o dużej gęstości.



Ryc. 8. Wartość warstwy Proxemic Floor Field wytworzonej przez dwie osoby (osoby oznaczone okręgami) [64]
Fig. 8. Proxemic Floor Field layer value generated by two people (people marked with circles) [64]

4.5. Model F.A.S.T

W roku 2007 Kretz sformułował model F.A.S.T (Floor field and Agentbased Simulation Tool) [74]. Bazuje on na modelu Floor Field. Klasyfikowany jest jako model probabilistyczny (losowy) z rozszerzeniem o rzeczywiste zachowania ludzi. W modelu istnieją trzy poziomy podejmowania decyzji:
1) wybór wyjścia ewakuacyjnego,
2) wybór komórki docelowej,
3) wybór drogi pomiędzy obecną a docelową komórką.

Dwa pierwsze poziomy są procesami probabilistycznymi, natomiast trzeci jest procesem deterministycznym. Wybór wyjścia ewakuacyjnego odbywa się w oparciu o równanie:

$$p_{E}^{A} = N\left(1+\delta_{AE}k_{E}(A)\right)/S(A,E)^{2} \tag{12}$$

gdzie:
N – współczynnik normalizacji sprowadzający proporcjonalnie prawdopodobieństwa wyboru danego wyjścia ewakuacyjnego przez określonych agentów, $\Sigma_{E}p_{E} = 1$,
δ_{AE} – współczynnik określający które wyjście ewakuacyjne wybrał agent w poprzednim kroku czasowym,
$k_{E}(A)$– współczynnik trwałości wyboru wyjścia ewakuacyjnego,
$S(A, E)$– odległość agenta A od wyjścia ewakuacyjnego E,

Dla modelu określono dyskretny czas wynoszący 1 s, który odpowiada czasowi typowej reakcji. Powoduje to następstwa polegające na możliwości pokonania przez osobę od trzech do sześciu komórek w czasie jednego kroku czasowego w zależności od maksymalnej prędkości danej osoby oraz od tego czy komórki są wolne czy zajęte. W celu realizacji procesu wyboru komórki docelowej niezbędne jest posługiwanie się sąsiedztwem o promieniu większym niż jeden i opisanym szczegółowo w pracy [75]. Wybór komórki docelowej odbywa się zgodnie z równaniem:

$$p_{ij} = Np_{xy}^{S} + p_{xy}^{D} + p_{xy}^{I} + p_{xy}^{W} + p_{xy}^{P}, \tag{13}$$

gdzie:

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12

p_{xy}^{S} – wpływ pola statycznego,
p_{xy}^{D} – wpływ pola dynamicznego,
p_{xy}^{I} – wpływ efektu bezwładności,
p_{xy}^{W} – wpływ bliskości ścian,
p_{xy}^{P} – wpływ gęstości tłumu.

4.6. Model Varasa pola statycznego i interakcji pomiędzy uczestnikami

Varas opracował model korzystający z pola statycznego i zależności pomiędzy ewakuowanymi osobami [48]. Warstwa pola statycznego budowana jest w ten sposób, że każde przejście wertykalne powoduje wzrost wartości pola o 1, natomiast każde przejście skośnie o 1,5. Do określania wartości przyjmuje się sąsiedztwo Moore'a. Dla ścian i przeszkód przydzielana jest bardzo duża wartość znacznie przekraczająca wartości pola statycznego. W publikacji autor przyjął wartość 500.

Jeśli dla danej komórki dwóch lub więcej sąsiadów ma tą samą wartość, to wybór komórki, do której przemieści się ewakuowana osoba wybierany jest losowo. Losowo odbywa się również przydział komórki w przypadku, jeśli dwie lub więcej osób chce się do niej przemieścić. Pozostałe niewylosowane osoby nie zmieniają pozycji. Ponadto określono odsetek osób, które nie zmieniają w danym kroku czasowym swojej pozycji mimo występowania wolnych pól, do których mogłyby się przemieścić. Ma to na celu odwzorowanie występowania zjawiska paniki. W omawianym modelu autor zakłada odsetek 5% osób pod wpływem paniki.

4.7. Model pola dynamicznego

Wzorując się na poprzednio opisanym modelu Varasa, Alizadeh [76] zaproponował wprowadzenie do niego warstwy pola dynamicznego obliczanego z wykorzystaniem pola statycznego oraz dynamicznej odległości osób od wyjść ewakuacyjnych. Wartości pola dynamicznego obliczane są za pomocą równania:

$$W_i^A(x) = W_{static}^A(x) + \alpha T_i^A(x) \tag{14}$$

$W_{static}^A(x)$ są wartościami pola statycznego określonego zgodnie z przyjętą metryką, natomiast $T_i^A(x)$ określa liczbę osób, które znajdują się bliżej wyjścia A w *i*-tym kroku czasowym od komórki *x*. Współczynnik α określa stopień wpływu $T_i^A(x)$ na wartość pola dynamicznego $W_i^A(x)$.

Przy wyborze komórki, do której przemieszcza się osoba, bierze się pod uwagę wartość pola dynamicznego. W przypadku konfliktu dokonuje się losowania. Pozostali uczestnicy w tym czasie oczekują. Autor wprowadza również odsetek 5% osób, które nie wykonują ruchu w danym kroku czasowym pomimo występowania wolnych komórek o mniejszej wartości niż zajmowana.

4.8. Model Real Coded Cellular Automata

Przy definiowaniu modelu wykorzystano teorię gazu sieciowego (*ang.* Real-coded lattice gas) [41]. Do określania kierunku przejść wykorzystywana jest rzeczywista odległość osoby od wyjścia ewakuacyjnego oraz algorytm Dijkstra. Model zawiera cztery reguły aktualizacji:

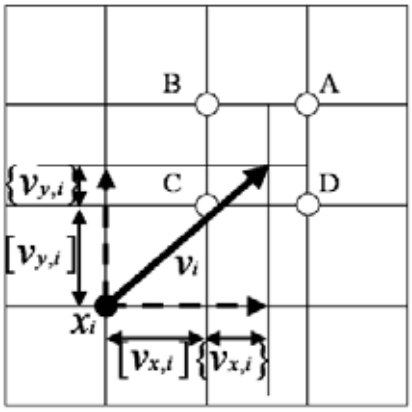
1. Każde przemieszczenie ewakuowanej osoby jest równe sumie pozycji początkowej oraz wektora prędkości:

$$x_i' = x_i + v_i \tag{15}$$

gdzie:
x_i – pozycja początkowa,
v_i – wektor prędkości

2. Aby utrzymać pozycje ewakuowanych osób zgodną z zadeklarowaną siatką każda osoba jest przyciągana do najbliższego punktu siatki. Przykładową kalkulację prawdopodobieństwa przedstawia rycina 9.

$$v_{x,i} = \lfloor v_{x,i} \rfloor \Delta / \Delta_t + \{v_{x,i}\} \Delta / \Delta_t$$
$$v_{y,i} = \lfloor v_{y,i} \rfloor \Delta / \Delta_t + \{v_{y,i}\} \Delta / \Delta_t \tag{16}$$



Ryc. 9. Graficzna reprezentacja drugiego kroku algorytmu *real-coded* [41]
Fig. 9. A graphical representation of the second step for the r*eal-coded* algorithm[41]

$$p_A = \{v_{x,i}\} \cdot \{v_{y,i}\}$$
$$p_B = (1 - \{v_{x,i}\}) \cdot \{v_{y,i}\}$$
$$p_C = \{v_{x,i}\} \cdot (1 - \{v_{y,i}\})$$
$$p_D = (1 - \{v_{x,i}\}) \cdot (1 - \{v_{y,i}\}) \tag{17}$$

3. Gdy ewakuująca się osoba chce przejść do już zajętego punktu siatki, zostaje zmieniony kierunek ruchu osoby od +45° do -45° w zależności od tego gdzie znajduje się najbliższy wolny punkt siatki.
4. W każdym kroku czasowym jest określany kierunek ruchu ewakuowanej osoby prowadzący bezpośrednio do wyjścia ewakuacyjnego.

Przedstawione koncepcje, modele nie są jedynymi. Na przestrzeni ostatnich lat powstało ich bardzo wiele. Często stanowią modyfikacje już istniejących i omówionych w powyższych sekcjach.

5. Problemy występujące w modelowaniu przemieszczania się osób

Podczas modelowania ewakuacji przy zastosowaniu automatów komórkowych występuje wiele problemów wynikających m.in. z dyskretyzacji czasu i przestrzeni. Jednym z nich jest próba zajęcia przez dwie lub więcej osób tej samej komórki w trakcie ewakuacji (konflikt). W rzeczywistości sytuacja taka jest niemożliwa, dlatego algorytmy aktualizacji pozycji ewakuowanych osób muszą zawierać założenia do rozwiązywania konfliktów. Jednym z najprostszych rozwiązań w tym przypadku jest przydzielenie komórki dla losowo wybranej osoby [48]. Innym sposobem jest utworzenie nowej macierzy z komórką, dla której występuje konflikt, a następnie dokonanie szeregu obliczeń, które mają na celu wskazać, która osoba ma największe prawdopodobieństwo zajęcia komórki [77].

Kolejnym problemem są kolizje. Występują podczas stosowania sąsiedztwa Moore'a. Problem kolizji przedstawiono na rycinie 10b,c. Pierwszą z kolizji (ryc. 10b) jest chęć przejścia przez dwie osoby równocześnie przed sobą. Podczas ewakuacji z udziałem ludzi jedna z tych osób musiałaby po-

czekać, aż druga przed nią przejdzie. Równoczesne przejście nie byłoby możliwe. Drugi problem kolizji jak na rys. 10c to próba przejścia pomiędzy dwiema osobami znajdującymi się blisko siebie. W realnej ewakuacji przejście takie byłoby trudne lub nawet niemożliwe.

Kolejnym problemem jest zmiana prędkości przemieszczania się osób w zależności od zastosowanego sąsiedztwa. Używając do symulacji sąsiedztwo von Neumanna ewakuowane osoby mają możliwość przemieszczania się o komórkę w pionie lub poziomie. Przy założeniu wymiarów komórki 0,4 m x 0,4 m w każdym kroku czasowym osoba pokonuje 0,4 m. Natomiast stosując sąsiedztwo Moore'a występują sytuacje, w których ewakuowana osoba może w danym kroku czasowym przemieścić się po skosie. Wtedy przebyta droga jest dłuższa i wynosi ok. 0,57 m. Wpływa to znacząco na prędkość przemieszczania się ewakuowanych osób. Osoba pokonująca pomieszczenie po skosie przy zastosowaniu sąsiedztwa von Neumanna będzie przemieszczała się znacznie wolniej niż przy zastosowaniu sąsiedztwa Moore'a.

Innym problemem jest odwzorowanie maksymalnej gęstości zatłoczenia. Przy zastosowaniu komórek automatu o wymiarach 0,4 m x 0,4 m maksymalna gęstość rozmieszczenia ludzi wynosi 6,25 os./m^2. Natomiast rzeczywiste obserwacje oraz liczne dane statystyczne w publikacjach naukowych dotyczących bezpieczeństwa ewakuacji wskazują, że w sytuacjach zagrożenia i paniki gęstość ta może osiągać wartość nawet 8 os./m^2 [78].

Zagadnienie dyskretyzacji przestrzeni, prędkości przemieszczania i ich wpływ na modelowanie ewakuacji podjął Kirchner [79]. Natomiast problemem odwzorowania szerokiego zakresu gęstości rozmieszczenia osób przy wykorzystaniu automatów komórkowych wraz z walidacją wyników podjęto w publikacji [80]. Istotne znaczenie ma proces walidacji i weryfikacji poprawności przyjętych założeń w rozwiązywaniu ograniczeń spowodowanych zastosowaniem automatów komórkowych. Elementy weryfikacji i walidacji omówiono w rozdziale 7.

6. Podstawowe założenia do przeprowadzenia prawidłowej symulacji

Symulacje ewakuacji to obraz rzeczywistego przemieszczania się ludzi odwzorowany przy wykorzystaniu oprogramowania komputerowego. Oprogramowanie wykorzystujące automaty komórkowe musi odwzorowywać ewakuację w jak najbardziej wiarygodny sposób. Powierzchnia pomieszczenia odwzorowana przy wykorzystaniu automatu komórkowego musi zostać podzielona na dyskretne części, komórki. Bardzo powszechnym odwzorowaniem są kwadraty o wymiarach 0,4 m x 0,4 m. Jak już wspomniano wcześniej, taki wymiar komórki przy założeniu maksymalnej gęstości rozmieszczenia ludzi pozwala na odwzorowanie ok. 6,25 os./m^2 [81]. Nie jest to jedyny rozmiar komórki. W modelach stosuje się również komórki o bokach 0,5 m, a także i mniejsze od 0,4 m.

Kolejnym parametrem niezbędnym do określenia jest czas odpowiadający jednemu krokowi aktualizacji stanu automatu. Przyjmując, że ewakuujące osoby przemieszczają się ze średnią prędkością 1 m/s i znając wymiar komórki automatu (0,4 m) jeden krok w działaniu automatu będzie odpowiadał czasowi równemu 0,4 s. W znacznej części opracowań autorzy za prędkość ewakuacji przyjmują 1,3 m/s (średnia prędkość przemieszczania się ludzi podczas ewakuacji).

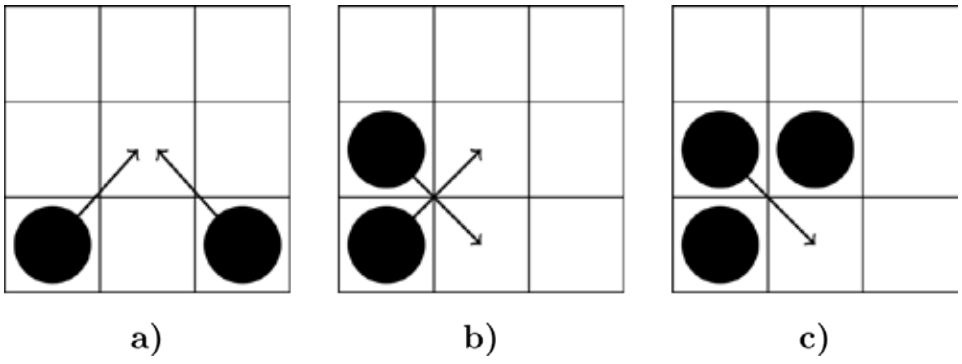
7. Weryfikacja i walidacja symulacji

Model do symulacji ewakuacji musi przejść proces walidacji oraz weryfikacji. Walidacja realizowana jest na etapie tworzenia oprogramowania do symulacji. Jest to proces mający na celu wierne odwzorowanie podstawowych założeń modelu. Określane na tym etapie są takie elementy jak:

- właściwy dobór siatki automatu,
- wybór odpowiedniego rozmiaru siatki,
- rodzaj sąsiedztwa,
- właściwe odwzorowanie założonych w modelu reguł przejść, itp.

Weryfikacja natomiast jest procesem polegającym na porównaniu wyników symulacji z rzeczywistą realizacją ewakuacji. Im wyższej jakości oprogramowanie do symulacji ewakuacji, tym bardziej dokładne jest odwzorowanie procesu ewakuacji. Autorzy niejednokrotnie wykonują określoną liczbę prób ewakuacji z udziałem ludzi. Następnie identyczne warunki odtwarzają przy wykorzystaniu badanego modelu. Porównanie wyników pozwala na skalibrowanie modelu w taki sposób, aby oprogramowanie bazujące na automacie komórkowym odwzorowywało rzeczywistą ewakuację możliwie najwierniej. Porównania takiego dokonuje się w stosunku do prostych układów pomieszczeń.

Proces walidacji i weryfikacji wykonuje się m.in. w oparciu o instrukcję Międzynarodowej Organizacji Morskiej MSC/Circ.1238 - *Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships* [82], MSC/Circ.1033 - *Interim guidelines for evacuation analyses for new and existing passenger ships* [83], instrukcję RiMEA - *Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen* [84], prace Rogscha [85], wytyczne NIST [86] oraz standardy ISO/TR 16738:2009 - *Fire Safety Engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people*, ISO/TR 13387-8:1999 - *Fire safety engineering - Part 8 Life safety - Occupant behaviour,*



Ryc. 10. Konflikty i kolizje ewakuowanych osób podczas symulacji przy zastosowaniu automatu komórkowego
Fig. 10. Evacuee discord and collisions during stimulation, using cellular automaton
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [10] i [55]
Source: Own elaboration based on [10] and [55]

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12

location and condition [87-88]. Szczególne znaczenie podczas walidacji ma również podstawowy diagram przepływu [89]. Rozszerzenie procesu walidacji i weryfikacji zaproponował Lubaś [90], a w najnowszej pracy [91] autorzy prezentują wybrane problemy, które należy uwzględnić podczas budowania oprogramowania do symulacji ewakuacji. Problem właściwej walidacji i weryfikacji przepływu tłumu podejmuje również Dridi [92].

Proces weryfikacji obejmuje szereg elementów, takich jak [90]:

1. Rozkład czasu wstępnej ewakuacji,
2. Prędkość przemieszczania się na korytarzach i schodach,
3. Ruch na zakrętach,
4. Parametry demograficzne użytkowników,
5. Zależność widzialności i prędkości przemieszczania,
6. Wpływ użycia wind,
7. Przepływ na poziomych drogach ewakuacyjnych,
8. Zachowania grup ludzi,
9. Niepełnosprawność ruchowa ludzi,
10. Wybór wyjść ewakuacyjnych,
11. Oddziaływania społeczne i przynależności,
12. Dynamiczna dostępność wyjść,
13. Przeludnienie,
14. Maksymalny przepływ,

Dokument weryfikacji jest nierozłącznie związany z analizowanymi przypadkami i pozwala na określenie, w jakim stopniu model odzwierciedla ewentualną rzeczywistą ewakuację.

8. Złożoność obliczeniowa automatów komórkowych

Czas działania algorytmu można opisać funkcją zależną od ilości danych wejściowych *n*. W zależności od algorytmu czas działania może zostać wyrażony określoną funkcją *f(n)* [93]. I tak np.:

1. Gdy czas działania zależy liniowo od ilości danych wejściowych, funkcja opisująca złożoność obliczeniową będzie miała postać – $f(n) = n$.
2. Dla czasu działania rosnącego wykładniczo w stosunku do ilości danych wejściowych – $f(n) = n^2$.

Do opisu złożoności obliczeniowej stosuje się trzy notacje:

1. Notacja Θ – w której funkcja opisująca jest asymptotycznie dokładnym oszacowaniem.
2. Notacja O – w której funkcja opisująca jest asymptotyczną górną granicą (czas wykonania algorytmu nie przekracza górnej granicy funkcji).
3. Notacja Ω – w której funkcja opisująca jest asymptotyczną dolną granicą (czas wykonania algorytmu nie jest mniejszy od dolnej granicy funkcji).

Proste modele bazujące na automatach komórkowych mają złożoność obliczeniową rzędu O(n) [25]. Porównywane są tylko sąsiednie komórki, a ich liczba jest określona i stała. W drodze rozbudowy modeli na bazie automatów komórkowych wprowadzone zostały dodatkowe założenia, które wpływają na wzrost złożoności obliczeniowej.. Wciąż jednak automaty te pozwalają modelować ewakuację w łatwy sposób przy wykorzystaniu niewielkiej mocy obliczeniowej. Potwierdzili to również autorzy, modelując ewakuację przy zastosowaniu automatu komórkowego i algorytmu zachłannego grupy 30 tysięcy na komputerze klasy PC z procesorem Intel i3 bez konieczności zrównoleglenia obliczeń [94]. Ze względu na niską złożoność obliczeniową modeli opartych o automaty komórkowe możliwe jest modelowanie ewakuacji wielotysięcznych grup ludzi w czasie rzeczywistym również przy zastosowaniu programu PedGo [95].

Natomiast dla modelu Social Force, w którym podczas obliczeń dokonuje się porównania każdego ewakuowanego z każdym innym i dodatkowo ze wszystkimi przeszkodami funkcja opisująca złożoność jest potęgowa – $O(n^2)$ [25-26]. Modele agentowe, których powstanie zawdzięczamy sztucznej inteligencji, mogą w pesymistycznej konfiguracji wykonywać porównania cech każdego agenta z każdym innym, a tym samym ich złożoność obliczeniowa będzie na poziomie $O(n^2)$ [24].

Autorzy poszczególnych modeli zakładają określone parametry i rozbudowują modele o nowe własności, które w konsekwencji mają wpływ na wzrost złożoności obliczeniowej.

9. Podsumowanie

Na rynku dostępnych jest wiele narzędzi pozwalających na weryfikację bezpieczeństwa ewakuacji. Postęp w dziedzinie inżynierii oprogramowania, modelowania rzeczywistych zjawisk, wzrost mocy obliczeniowej komputerów pozwala na zastosowanie wyspecjalizowanego oprogramowania w celu analizy bezpieczeństwa ewakuacji. Automaty komórkowe znalazły szerokie zastosowanie w modelowaniu ewakuacji. Prowadzone są ciągłe badania nad jakością modeli i bazujących na nich aplikacjach. Wiedza zaprezentowana w niniejszym artykule jest niezbędna inżynierom pożarnictwa do rzetelnego analizowania zagrożeń występujących w procesie ewakuacji. Na całym świecie wykonuje się szereg symulacji ewakuacji dla różnych obiektów, głównie takich, w których może występować duża liczba osób. Podyktowane jest to potrzebą reagowania (jeszcze na etapie projektowania i budowy) na możliwe sytuacje zagrożeń podczas ewakuacji. Jednym z najniebezpieczniejszych zagrożeń jest panika. Modele ewakuacji mogą wskazać miejsca, w których może dochodzić m.in. do niechcianych zjawisk, nadmiernego zatłoczenia, niekontrolowanych interakcji pomiędzy uczestnikami, występowanie wąskich gardeł.

W artykule zaprezentowano w sposób syntetyczny podstawy automatów komórkowych, modele obecnie dostępne bazujące na automatach komórkowych oraz problemy, na jakie należy zwrócić uwagę podczas budowania modelu.

W odrębnych pracach zostaną zaprezentowane wyniki symulacji ewakuacji z wybranych obiektów wykonane na podstawie przedstawionych powyżej modeli. Pierwszą z przewidywanego cyklu publikacji jest zaprezentowana podczas konferencji naukowej „Bezpieczeństwo Przyszłości" w Szkole Głównej Służby Pożarniczej 12 kwietnia 2016 r. Autorzy zaproponowali wersję modelu Floor Field opartą na warstwie statycznej obliczanej zgodnie z metryką euklidesową. W ramach reguł aktualizacji zastosowano algorytm zachłanny w celu wyboru komórki przejścia. Dla określonych parametrów otrzymano zbieżne wyniki oszacowania czasu ewakuacji wybranych konfiguracji pomieszczeń z programami Pathfinder, PedGo oraz FDS+Evac. Ponadto porównano czas pracy procesora dla zaproponowanego modelu oraz programu FDS+Evac przy zmiennej liczbie osób. Wykazano, że czas pracy procesora dla automatu komórkowego rośnie liniowo wraz ze wzrostem liczby osób, natomiast dla programu FDS+Evac wykładniczo. Oszacowanie czasu ewakuacji 1000 osób przy zastosowaniu automatu komórkowego zajęło 60 s, natomiast przy użyciu programu FDS+Evac około 20 minut. Autorzy przeprowadzili również modelowanie ewakuacji 30 000 osób na komputerze z procesorem Intel i3 oraz pamięcią RAM 4 GB. Modelowanie tak dużej grupy ludzi przy zastosowaniu programu FDS+Evac dla tego samego sprzętu komputerowego byłoby niemożliwe. Model daje możliwość przybliżonego oszacowania czasu ewakuacji w bardzo krótkim czasie dużych grup ludzi z pomieszczeń o dowolnej konfiguracji [94].

10. Wnioski

Automaty komórkowe są dziedziną informatyki, która pozwala na modelowanie ewakuacji. Rozwój modeli na prze-

strzeni ostatnich lat umożliwił bardzo dokładne odwzorowanie zjawisk towarzyszących ewakuacji przy zastosowaniu tego typu narządzi. Modele pomimo swoich wad i ograniczeń dają perspektywę dalszego rozszerzenia swoich możliwości m.in. o zjawiska towarzyszące panice. Ponadto stosunkowo niewielka złożoność obliczeniowa tego typu modeli pozwala na analizowanie bezpieczeństwa ewakuacji już na etapie projektowania budynków i obiektów bez znaczącego wpływu na koszty.

Opracowanie wykonano w ramach realizacji pracy statutowej S/WI/1/2013 prowadzonej na Wydziale Informatyki Politechniki Białostockiej.

Literatura

[1] Canetti E., *Crowds and power*, The Continuum Publishing Corporation [electr. doc.] http://asounder.org/resources/canetti_crowdsandpower.pdf [accessed:12.06.2016].
[2] Helbing D., *A fluid-dynamic model for the movement of pedestrians*, "Complex Systems" 1992, 6, 391-415.
[3] Okazaki S., *A study of pedestrian movement in architectural space, part 1: Pedestrian movement by the application on of magnetic models*, "Trans. of A.I.J." 1979, 283, 111-119.
[4] Helbing D., Molnar P., *Social force model for pedestrian dynamics*, "Physical Review E" 1995, 51(5), 4282-4286.
[5] Kwak J., Jo H.H., Luttinen T., Kosonen I., *Collective dynamics of pedestrians interacting with attractions*, "Physical Review E" 2013, 88(6), 062810.
[6] Xu S., Duh H.B.L., *A simulation of bonding effects and their impacts on pedestrian dynamics*, Intelligent Transportation Systems, "IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems" 2010, 11(1), 153-161.
[7] Tadeusiewicz R., *Introduction to inteligent systems*, [in:] *The Industrial Electronics Handbook, Inteligent systems*, Milanowski B.M., Irwin J.D. (eds.), Taylor & Francis Group, 2011, 1.1-1.12.
[8] Bandini S., Federici M.L., Vizzari G., *Situated cellular agents approach to crowd modeling and simulation*, "Cybernetics and Systems: An International Journal" 2007, 38(7), 729-753.
[9] Bandini S., Rubagotti F., Vizzari G., Shimura K., *An agent model of pedestrian and group dynamics: experiments on group cohesion*, [in:] AI* *IA 2011: Artificial Intelligence Around Man and Beyond*, R. Pirrone, F. Sorbello (eds.), Springer, Berlin Heidelber, 2011, 104-116.
[10] Burstedde C., Klauck K., Schadschneider A., Zittartz J., *Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional Cellular Automaton*, "Physica A" 2001, 295(3), 507-525.
[11] Wąs J., *Algorytmy modelowania inteligentnych zachowań w zagadnieniach dynamiki pieszych z zastosowaniem niehomogenicznych automatów komórkowych*, Praca doktorska, AGH 2006, [dok. elektr.] http://winntbg.bg.agh.edu.pl/rozprawy/9768/full9768.pdf [dostęp: 12 czerwca 2016].
[12] Dijkstra J., *An agent architecture for visualizing simulated human behavior to support the assessment of design performance*, [in:] *2008 International Conference on Computational Intelligence for Modelling Control & Automation*, 2008, 808-813.
[13] Ma J., Lo S.M., Song W.G., Wang W.L., Zhang J., Liao G.X., *Modeling pedestrian space in complex building for efficient pedestrian traffic simulation*, "Automation in Construction" 2013, 30, 25-36.
[14] Schelhorn T., O'Sullivan D., Haklay M., Thurstain-Goodwin M., *STREETS: An Agent-based Pedestrian Model*, wykład na konferencji "Computers in Urban Planning and Urban Management", Venice 1999, [electr. doc.] http://discovery.ucl.ac.uk/150308/1/paper9.pdf [accessed: 12.06. 2016].
[15] Hua K., Xing-Li L., Yan-Fang W., Tao S., Shi-Qiang D., *Effect of following strength on pedestrian counter flow*, "Chinese Physics B" 2010, 19(7), 070517.
[16] Ma J., Song W., Zhang J., Lo S., Liao G., *K-Nearest-Neighbor interaction induced self-organized pedestrian counter flow*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2010, 389(10), 2101-2117.
[17] Dai J., Li X., Liu L., *Simulation of pedestrian counter flow through bottlenecks by using an agent-based model*, "Physica A" 2013, 392(9), 2202-2211.
[18] Guo R.Y., Wong S.C., Huang H.J., Zhang P., Lam, W.H.K., *A microscopic pedestrian-simulation model and its application to intersecting flows*, "Physica A" 2010, 389(3), 515-526.
[19] Zacharias J., *The impact of layout and visual stimuli on the itineraries and perceptions of pedestrians in a public market*, "Environment and Planning B: Planning and Design" 1997, 24, 23-36.
[20] Zacharias J., *Pedestrian behavior pedestrian behavior and perception in urban walking environments*, "Journal of Planning Literature" 2001, 16(1), 3-18.
[21] Yuan W., Tan K.H., *A model for simulation of crowd behaviour in the evacuation from a smoke-filled compartment*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2011, 390, 4210-4218.
[22] Zhao D., Yang L., Li J., *Occupants' behavior of going with the crowd based on cellular automata occupant evacuation model*, "Physica A" 2008, 387, 3708-3718.
[23] Mitchell M., *Computation in Cellular Automata: A selected review*, Nonstandard Computation, 1996, 95-140.
[24] Sanchez S. M., Lucas T. W., *Exploring the world of agent-based simulations: Simple models, complex analyses*, [in:] *Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference*, Yucesan E. (eds.), San Diego 2002, [electr. doc.] http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a492247.pdf [accessed: 12.06.2016].
[25] Kirchner A., Schadschneider A., *Simulation of evacuation process using a bionics-inspired cellular automata model for pedestrian dynamics*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2002, 312(1-2), 260-276.
[26] Henein C., White T., *Agent-Based modeling of forces in crowd*, [in:], *Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation*, P. Davidsson, B. Logan, K. Takadama, Joint Workshop MABS, 2004, 173-184.
[27] Kuligowski E.D., Peacock R.D., Hoskins B.L., *A review of building evacuation model*, Technical Note 1471, NIST 2005 [elect. doc..] http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/f05107.pdf [accessed: 12.06.2016].
[28] Pelechano N., Malkawi A., *Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches*, "Automation in construction" 2008, 17(4), 377-385.
[29] Santos G., Aguirre B.E., *A critical review of emergency evacuation simulation model*, NIST, 2004 [elect. doc.] http://fire.nist.gov/bfrlpubs/fire05/PDF/f05012.pdf [accessed: 12.06.2016].
[30] Klupfel H., Meyer-Konig T., *Simulation of the evacuation of a football stadium using the CA model PedGo*, "Traffic and Granular Flow 2005, 3, 423-428.
[31] *Procedury organizacyjno-techniczne w sprawie spełnienia wymagań w zakresie bezpieczeństwa pożarowego w inny sposób niż to określono w przepisach techniczno-budowlanych, w przypadkach wskazanych w tych przepisach, oraz stosowania rozwiązań zamiennych, zapewniających niepogorszenie warunków ochrony przeciwpożarowej, w przypadkach wskazanych w przepisach przeciwpożarowych, Biuro Rozpoznawania Zagrożeń Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej*, Warszawa 2008 [dok. elektr.] http://www.straz.gov.pl/download/1795 [dostęp: 12.06.2016].
[32] Kowalczyk I., Gardiasz P., *Raport z wykonania symulacji ewakuacji*, Przedsiębiorstwo Usług Pożarniczych Techno-Poż, Opole 2012, [dok. elektr.] http://bip.krapkowice.pl/download/attachment/25403/zalacznik-nr-12-do-siwz.pdf [dostęp: 12.06.2016].
[33] Seweryn K., Maciurzyńska M., *Dokumentacja projektowa. Model ruchu ludzi w sytuacji napełniania stadionu*, [dok. elektr.] http://docplayer.pl/10737908-Model-ruchu-ludzi-w-sytuacji-napelniania-stadionu.html [dostęp 12.06.2016].
[34] Ferber J., *Multi-agent systems: In An Introduction to Distributed Artificial Intelligence*, Addison-Wesley 1999.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.12

[35] Wolfram S., *Theory and Applications of Cellular Automata*, World Scientific Press, Singapore 1986.
[36] Weimar J.R., *Simulation with Cellular Automata*, Logos-Verlag, Berlin, 1998.
[37] Chopard B., Droz M., *Cellular automata modeling of physical systems*, Cambridge University Press, 1998.
[38] Sarmady S., Haron F., Talib A., *Simulating crowd movements using fine grid cellular automata*, *Proceedings of the 2010 12th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, IEEE Computer Society Washington, DC USA 2010, 428-433.
[39] Roan T., *Developing an agent-based evacuation simulation model based on the study of human behaviour in fire investigation reports*, Diss. UCL (University College London), 2014, [elec. doc.] http://discovery.ucl.ac.uk/1417798/ [accessed: 12.06.2016].
[40] Guo R., Huang H.J., *A modified floor field cellular automata model for pedestrian evacuation simulation*, "Journal of Physics A: Mathematical and Theoretical" 2008, 41(38), 385104.
[41] Yamamoto K., Kokubo S., Nishinari K., *Simulation for pedestrian dynamics by real-coded cellular automata (RCA)*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2007, 379(2), 654-660.
[42] Kułakowski K., *Automaty komórkowe*, AGH, [dok. elektr.] http://www.ftj.agh.edu.pl/~kulakowski/AC/skrypt.pdf [dostęp: 12.06. 2016].
[43] Nagel K., Schreckenberg M., *A cellular automaton model for freeway traffic*, "Journal de physique I" 1992, 2(12), 2221-2229.
[44] Rickert M., Nagel K., Schreckenberg M., Latour A., *Two lane traffic simulations using cellular automata*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 1996, 231(4), 534-550.
[45] Hu J., You L., Wei J., Gu M., Liang Y., *The effects of group and position vacancy on pedestrian evacuation flow model*, "Physics A" 2014, 378(28), 1913-1918.
[46] Foks K., *Zastosowanie automatów komórkowych do symulacji ruchów mas śnieżnych*, Praca magisterska, Wydział Matematyki, Fizyki i Informatyki, Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie, 2004.
[47] Hu J., Sun H., Gao G., Wei J., You L., *The Group Evacuation Behavior Based on Fire Effect in the Complicated Three-Dimensional Space*, "Mathematical Problems in Engineering" 2014, 949280.
[48] Varas A., Cornejo M.D., Mainemer D., Toledo B., Rogan J., Munoz V., Valdivia J.A., *Cellular automata model for evacuation process with obstacles*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2007, 382(2), 631-642.
[49] Biłozor, A., Czyża S., Szuniewicz K., *Modelowanie procesu ewakuacji w przypadku zagrożeń terrorystycznych*, „Acta Scientiarum Polonorum. Administratio Locorum" 2013, 12(1), 21-30.
[50] Hartmann D., *Adaptive pedestrian dynamics based on geodesics*, "New Journal of Physics" 2010, 12(4), 043032.
[51] Chen M., Bärwolff G., Schwandt H., *Modeling Pedestrian Dynamics on Triangular Grids*, "Transportation Research Procedia 2" 2014, 327-335.
[52] Fang Z., Li Q., Han L.D., Shaw S.L., *A space–time efficiency model for optimizing intra-intersection vehicle–pedestrian evacuation movements*, "Transportation Research Part C: Emerging Technologies" 2013, 31, 112-130.
[53] Kari J., *Theory of cellular automata: A survey*, "Theoretical Computer Science" 2005, 334(1), 3-33.
[54] Margolus N., *Physics-like models of computation*, "Physica D: Nonlinear Phenomena" 1984, 10(1), 81-95.
[55] Nitzsche C., *Cellular automata modeling for pedestrian dynamics*, Greifswald, 2013 [elect. doc.] http://www.physik.uni-greifswald.de/fileadmin/physik/ag_schneider/bachelorneu.pdf [accessed: 12.06.2016].
[56] Lämmel G., Flötteröd G., *A CA Model for Bidirectional Pedestrian Streams*, "Procedia Computer Science" 2015, 52, 950-955.
[57] Wąs J., Lubaś R., *Adapting Social Distances Model for Mass Evacuation Simulation*, "Journal of Cellular Automata" 2013, 8, 395-405.
[58] Blue V.J., Adler J.L., *Cellular automata microsimulation for modeling bi-directional pedestrian walkways*, "Transportation Research Part B: Methodological" 2001, 35(3), 293-312.
[59] Muramatsu M., Irie T., Nagatani T., *Jamming transition in pedestrian counter flow*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 1999, 267(3), 487-498.
[60] Muramatsu M., Nagatani T., *Jamming transition in two-dimensional pedestrian traffic*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2000, 275(1), 281-291.
[61] Weifeng F., Lizhong Y., Weicheng F., *Simulation of bi-direction pedestrian movement using a cellular automata model*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2003, 321(3), 633-640.
[62] Nishinari K., Kirchner A., Namazi A., Schadschneider A., *Extended floor field CA model for evacuation dynamics*, "IEICE Transactions on information and systems" 2004, 87(3), 726-732.
[63] Huang H., Guo R.Y., *Static floor field and exit choice for pedestrian evacuation in rooms with internal obstacles and multiple exits*, "Physical Review E" 2008, 78(2), 021131.
[64] Ezaki T., Yanagisawa D., Ohtsuka K., Nishinari K., *Simulation of space acquisition process of pedestrians using proxemic floor field model*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2012, 391(1), 291-299.
[65] Wąs J., Lubaś R., Myśliwiec W., *Proxemics in discrete simulation of evacuation*, Cellular Automata, Springer Berlin Heidelberg, 2012, 768-775.
[66] Vizzari G., Manenti L., Crociani L., *Adaptive pedestrian behaviour for the preservation of group cohesion*, "Complex Adaptive Systems Modeling" 2013, 1(1), 1-29.
[67] Porzycki J., Lubaś R. Mycek M., Wąs J., *Dynamic data–driven simulation of pedestrian movement with automatic validation*, [in:] *Traffic and Granular Flow'13*, Springer International Publishing, 2015, 129-136.
[68] Gwizdałła T., *Some properties of the floor field cellular automata evacuation model*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications" 2015, 419, 718-728.
[69] Zheng Y., Jia B., Li X.G., Zhu N., *Evacuation dynamics with fire spreading based on cellular automaton*, Physica A: Statistical Mechanics and its Applications 390.18, 2011, pp. 3147-3156.
[70] Cao S., Song W., Liu X., Mu N., *Simulation of pedestrian evacuation in a room under fire emergency*, Procedia Engineering 71, 2014, pp. 403-409.
[71] Kretz T., Bonisch C., Vortisch P., *Comparison of various methods for the calculation of the distance potential field*, Pedestrian and Evacuation Dynamics, 2008, pp. 335-346.
[72] Li J., Wang J., Dong Y., Jia H., Li Y., *Streamline simulation and analysis of pedestrian weaving flow in large passenger terminal*, Mathematical Problems in Engineering, 2015, 645989.
[73] Dijkstra E., *A note on two problems in connexion with graphs*, "Numerische Mathematik" 1959, 1, 269-271.
[74] Kretz T., *Pedestrian traffic-simulation and experiments*, Diss. Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Physik» Theoretische Physik, 2007.
[75] Kretz T., Schreckenberg M., *Moore and more and symmetry*, [in:] *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, N. Waldau, P. Gattermann, H. Knoflacher, M. Schreckenberg (eds.) 2005, 297-308.
[76] Alizadeh R., *A dynamic cellular automaton model for evacuation process with obstacles*, "Safety Science" 2011, 49(2), 315-323.
[77] Klupfel H., *A cellular automata model for crowd movement and egress simulation*, Diss. Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Physik, 2003.
[78] Zafar B., *Analysis of the Mataf - Ramadan 1432 AH*, Technical report, Hajj Research Institute, Umm al-Qura University, Saudi Arabia 2011.
[79] Kirchner A., Klupfel H., Nishinari K., Schadschneider A., Schreckenberg M., *Discretization effects and the influence of walking speed in cellular automata models for pedestrian dynamics*, "Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment" 2004, 2004(10), 10011.
[80] Feliciani C., Nishinari K., *An improved Cellular Automata model to simulate the behavior of high density crowd and validation by experimental data*, "Physica A: Statistical Mechanics and its Applications", 2016, 451, 135-148.

[81] Forell B., Klupfel H., Schneider V., Schelter S., *Comparison of evacuation simulation model,* [in:] *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, U. Weidmann, U. Kirsch, M. Schreckenberg (eds.), Springer International Publishing, 2012, 189-196.
[82] MSC.1/Circ.1238, *Guidelines for evacuation analysis for new and existing passenger ships*, Technical report, International Maritime Organization.
[83] MSC.1/Circ.1033, *Interim guidelines for evacuation analyses for new and existing passenger ships*, Technical report, International Maritime Organization.
[84] *Richtlinie für Mikroskopische Entfluchtungsanalysen*, ver:2.2.1, Technical report. [dok. elektr.] www.rimea.de/fileadmin/files/dok/richtlinien/r2.2.1.pdf [accessed: 12.06.2016]
[85] Rogsch C., Klingsch W., Seyfried A., Weigel H., *Prediction accuracy of evacuation times for high-rise buildings and simple geometries by using different software-tools*, *Traffic and Granular Flow'07,* C. Appert-Rolland, F. Chevoir, P. Gondret, S. Lassarre, J. Lebacque, M. Schreckenberg (eds.), Springer Berlin Heidelberg, Berlin Heidelberg 2009, 395-400.
[86] Ronchi E., Kuligowski E.D., Reneke P.A., Peacock R.D., Nilsson D., The process of verification and validation of building fire evacuation models, NIST Technical Note 1822, 2013.
[87] ISO/TR-16738, Fire Safety Engineering - Technical information on methods for evaluating behaviour and movement of people, Technical report.
[88] ISO/TR-13387, Fire safety engineering - Part 8 Life safety - Occupant behaviour, location and condition, Technical report.
[89] Schadschneider A., Seyfried A., *Validation of CA models of pedestrian dynamics with fundamental diagrams*, "Cybernetics and Systems: An International Journal" 2009, 40(5), 367-389.
[90] Lubaś R., Mycek M., Porzycki J., Wąs J., *Validation and verification of eacuation models - methodology expansion proposition*, "Transportation Research Procedia" 2014, 2, 715-723.
[91] Lubaś R., Porzycki J., Wąs J., Mycek M., *Validation and veryfication of CA-based pedestrian dynamics models*, "Journal of cellular automata" 2016, 11(4), 285-298.
[92] Dridi M.H., *Pedestrian flow simulation validation and verification techniques*, arXiv:1410.0603, 2014.
[93] Cormen T.H., Leiserson C.E., Rivest R.L., *Wprowadzenie do algorytmów*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2000.
[94] Barański M., Maciak T., *Człowiek jako jednostka, element tłumu. Przykład zastosowania automatów komórkowych w modelowaniu ewakuacji*, Konferencja Bezpieczeństwo przyszłości, SGSP, 2016.
[95] Sarmady S., Haron F., Talib A.Z., *Evaluation of existing software for simulating of crowd at Masjid Al-Haram*, "Jurnal Pengurusan Jabatan Wakaf Zakat & Haji" 2007, 1(1), 83-95.

* * *

kpt. mgr inż. Mariusz Barański – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej oraz Politechniki Wrocławskiej. Dowódca zmiany i administrator systemów teleinformatycznych w Komendzie Powiatowej Państwowej Straży Pożarnej w Oławie. Programista aplikacji i autor publikacji z zakresu modelowania ewakuacji.

dr hab. inż. Tadeusz Maciak – profesor Politechniki Białostockiej, zatrudniony w Katedrze Mediów Cyfrowych i Grafiki Komputerowej Wydziału Informatyki Politechniki Białostockiej, profesor Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, kierownik Zakładu Informatyki i Łączności w SGSP. Autor wielu publikacji związanych z problematyką szeroko pojętej obronności wewnętrznej kraju.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 143–160

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.13

dr hab. **Ryszard Szczygieł**, prof. nadzw. IBL[1]
mgr inż. **Mirosław Kwiatkowski**[1]
mgr inż. **Bartłomiej Kołakowski**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 03.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 16.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Zagrożenie pożarowe Puszczy Białowieskiej[2]

Forest Fire Risk at Białowieża Primeval Forest

Пожарная опасность в Беловежской Пуще

ABSTRAKT

Cel: Celem publikacji jest ocena zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieskiej w kontekście rozpadu drzewostanów świerkowych w wyniku gradacji kornika drukarza. Artykuł powstał w dużej mierze na podstawie pracy pt. „Wpływ ilości martwego drewna w Puszczy Białowieskiej na zagrożenie pożarowe oraz zagrożenie dla ludzi" [1] zleconej przez Ministerstwo Środowiska, sfinansowanej ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej.
Wprowadzenie: Puszcza Białowieska jest szczególnie cennym pod względem przyrodniczym obszarem, na którym wskutek niespotykanej gradacji kornika drukarza (*Ips typographus*) w ostatnich latach doszło do rozpadu drzewostanów świerkowych na powierzchni kilku tysięcy hektarów. To zjawisko o charakterze klęskowym spowodowało wzrost obciążenia ogniowego oraz zwiększenie łatwopalnej martwej biomasy, która stwarza duże zagrożenie pożarowe. W tle toczących się sporów i dyskusji pomiędzy różnymi grupami interesariuszy na temat ochrony Puszczy, kluczowe staje się pytanie, czy człowiek powinien czynnie przeciwdziałać i ograniczać degradację cennych siedlisk przyrodniczych, czy nie ingerować w siłę natury i pozostawić je samym sobie. Jednym z istotnych elementów czynnej ochrony Puszczy Białowieskiej jest jej ochrona przeciwpożarowa, dlatego w artykule przedstawiono ocenę istniejącego zagrożenia pożarowego, analizę obecnego systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego wraz z propozycją jego poprawy.
Metodologia: Oceny zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieskiej dokonano w oparciu o analizy: kategoryzacji zagrożenia pożarowego lasu sporządzonych w planach urządzenia lasu nadleśnictw puszczańskich i planie ochrony Białowieskiego Parku Narodowego; występowania pożarów lasu w latach 2000-2015; obecnie funkcjonującego systemu ochrony przeciwpożarowej i jego oceny w świetle obowiązującego prawa oraz wpływu ilości i rodzaju wydzielonej biomasy na zagrożenie pożarowe.
Wnioski: Zagrożenie pożarowe Puszczy Białowieskiej wzrosło w wyniku rozpadu drzewostanów świerkowych i związanych z nim zwiększeniem obciążenia ogniowego oraz pojawieniem się pokrywy trawiastej, która uschnięta sprzyja powstawaniu i rozprzestrzenianiu się ognia. W związku z zaniechaniem działań prewencyjnych i odstąpieniem od zasad gospodarki leśnej, które spowodowały wzrost ryzyka pożarowego, konieczne jest dostosowanie istniejącego systemu ochrony przeciwpożarowej Puszczy Białowieskiej do występującego ryzyka.

Słowa kluczowe: Puszcza Białowieska, zagrożenie pożarowe, martwe drewno
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to reveal evaluation findings in respect of forest fire risk at Białowieża Primeval Forest, in the context of spruce trees degradation caused by a bark beetle invasion. The article is based on the report "Level of forest fire risk and threat to humans in relation to the volume of dead wood in Białowieża Forest" [1], which was commissioned by the Ministry of Environment and financed by the National Fund for Environmental Protection and Water Management.
Introduction: Białowieża Primeval Forest is of particular importance in relation to environmental values. However, in recent years, spruce tree stock has been exposed to progressive degradation across an area exceeding thousands of hectares, caused by an unusually large infestation of bark beetle (*Ips typographus* L.). Such developments, accompanied by symptoms associated with natural disasters, have increased the presence of combustible materials creating a potential fire hazard. Current debate and controversy amongst diverse interest groups revolves around the question of whether active human intervention should constrain the degree of degradation in the precious environment or avoid interference and allow nature to pursue its own course. One essential element of proactive defence at Białowieża Forest is an endeavour to protect it from the risk of fire. For this reason the article contains an evaluation of existing fire hazards, an analysis of current protection systems in place and proposals for the improvement of such systems.
Methodology: An evaluation of fire risk in Białowieża Primeval Forest was made by reference to the following: Forest fire risk categorization for Białowieża forest area management plan and conservation plan of Białowieża National Park; frequency of forest fires during the years 2000-

[1] Instytut Badawczy Leśnictwa, Sękocin Stary / Forest Research Institute, Poland, r.szczygiel@ibles.waw.pl;
[2] Procentowy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / Percentage contribution: R. Szczygieł – 50%, M. Kwiatkowski – 30%, B. Kołakowski – 20%;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

-2015; current forest fire protection system in force and evaluation of the system in context of current legal requirements, taking account of influences on the risk of fire caused by a volumetric increase and type of biomass generated through degradation.
Conclusions: The risk associated with Forest fires has increased as a result of spruce trees degradation in Białowieża Primeval Forest. In addition to this increase of combustible material other factors, which contribute, include the emergence of grass overlays across dead wood areas. Such grass, when dry, leads to outbreaks and propagation of fires in forest areas. Abandonment of prevention activities and departure from forest management principles compel the adaptation and adjustment of existing fire protection systems in accordance with emerging threats.

Keywords: Białowieża Primeval Forest, fire risk, dead wood
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью публикации является оценка пожарной угрозы в Беловежской пуще в контексте распада елового древостоя из-за вспышки численности короедов-типографов. Статья была создана главным образом на основе работы под названием «Влияние количества мертвой древесины в Беловежской пуще на пожарную опасность и угрозу жизни людей» по заказу Министерства окружающей среды, финансируемой Национальным фондом охраны окружающей среды и управления водными ресурсами.
Введение: Беловежская пуща является особенно ценным местом с точки зрения природы, где в результате беспрецедентной вспышки численности короедов-типографов (Ips typographus) в последние годы наблюдается разрушение елового древостоя на территории нескольких тысяч гектаров.
Это бедственное явление привело к повышению пожарной нагрузки и горючей мертвой биомассы, которая создает высокий риск возникновения пожара. На фоне продолжающихся споров и дискуссий между различными заинтересованными группами по защите Пущи, ключевой вопрос звучит так: должен ли человек активно предотвращать и уменьшать деградацию ценных природных мест обитания, или не стоит мешать силам природы и предоставить их самим себе. Одним из важнейших элементов активной защиты Беловежской пущи является ее противопожарная защита, поэтому в статье проводится оценка существующей пожарной опасности, анализ существующей системы противопожарной защиты вместе с предложением по ее совершенствованию.
Методология: Оценку пожарной опасности Беловежской пущи проведено на основе анализа: категоризации пожарной опасности лесов, разработанной в планах центров управления лесного хозяйства и лесных районов пущи и в плане охраны Беловежского Заповедника; лесных пожаров в 2000-2015 годы; функционирующей в настоящее время системы противопожарной защиты и ее оценки с точки зрения действующего закона, а также влияния числа и типа выделенной биомассы на пожарную опасность.
Выводы: Пожарная опасность Беловежской пущи увеличивается в результате распада елового древостоя и связанного с этим увеличением пожарной нагрузки и появлением сухого травяного покрова, который способствует возникновению и распространению огня. В связи с отказом от превентивных действий и от принципов лесного хозяйства, что привело к увеличению пожарной опасности, необходимо адаптировать существующую систему противопожарной защиты Беловежской пущи к настоящему риску.

Ключевые слова: Беловежская пуща, пожароопасность, сухостой
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wstęp

Od wielu lat sprawa Puszczy Białowieskiej budzi wiele emocji, które w ostatnim czasie spotęgował rozpad drzewostanów świerkowych zachodzący wskutek gradacji kornika drukarza. Częstym tematem dysput jest także podstawowe pytanie, czy w obecnej sytuacji konieczna jest ingerencja człowieka, czy też jednak należy pozostawić przyrodę samej sobie. Mimo tego, że wszyscy uczestnicy społecznej dyskusji deklarują, że mają na względzie przede wszystkim dobro tego cennego przyrodniczo miejsca, odpowiedzi na powyższe pytanie nie są niejednoznaczne i zależą od tego, kto je formułuje. Uogólniając, sprowadzają się one do dwóch zasadniczych stanowisk. Według pierwszego, prezentowanego generalnie przez leśników, twierdzi się, że uzasadniona jest czynna ochrona zagrożonych drzewostanów i zapobieżenie degradacji cennych siedlisk przyrodniczych. Natomiast ekolodzy wyrażają pogląd, że siły natury są w stanie poradzić sobie bez pomocy człowieka i ze względu na unikatowy charakter Puszczy Białowieskiej powinna być ona wyłączona z gospodarki leśnej. Oba poglądy mają swoich zwolenników także w środowisku naukowym, które dostarcza stronom argumentów, będących często ze sobą w sprzeczności. W uzasadnianiu i przekonywaniu do swych racji podnoszone są różne aspekty rozważane w kontekście ochrony Puszczy. Natomiast nieuwzględniany albo marginalizowany jest istotny argument związany z jej bezpieczeństwem pożarowym, które uległo znacznemu pogorszeniu, ze względu na zachodzący proces obumierania świerka, prześwietlenie drzewostanów i duże nagromadzenie się łatwopalnej biomasy. W pracy przedstawiono ocenę istniejącego zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieskiej, analizę funkcjonującego systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego wraz z propozycją jego poprawy.

1. Introduction

The Białowieża Primeval Forest has been a contentious issue for a number of years, and the spruce-tree degradation caused by a bark beetle infestation has recently sparked even more controversy. A much discussed subject is the fundamental question of whether human intervention is necessary in the current situation or whether nature should be left to itself. Even though all participants in this public debate declare that their overriding consideration is the good of this place as a natural asset, the answers to this question are not simple and depend on those who give them. In general, these answers can be reduced to two basic standpoints. According to the first one, which is mainly represented by foresters, actively protecting endangered forest stands and preventing the degradation of valuable natural habitats is justified. Environmentalists, on the other hand, claim that nature can take care of itself without human help and that the unique quality of the Białowieża Primeval Forest should exclude it from forestry activities. Both views also have their followers in the scientific community, which provides both camps with often contradictory arguments. Attempts at justification and persuasion involve various aspects considered in the context of protecting the Primeval Forest. However, the important argument of fire safety is left out or marginalised, despite its considerable deterioration due to the spruce dieback process, the self-thinning of forest stands and the large concentration of flammable biomass. This article presents a current categorisation of forest fire risk for the Białowieża Primeval Forest, an analysis of the fire protection system in place and suggestions for its improvement.

2. Kategoryzacja zagrożenia pożarowego Puszczy Białowieskiej i występowanie pożarów lasu

Kategorie zagrożenia pożarowego lasu (kzpl) przypisywane są dla obszaru nadleśnictwa albo parku narodowego w planach urządzenia lasu albo planach ochrony parku. Sposób zaliczania lasów do kategorii zagrożenia pożarowego lasu określa Rozporządzenie Ministra Środowiska w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów [2]. Kategoria zagrożenia obejmuje lasy o podobnym poziomie podatności na pożar i jest ustalana na podstawie:

1. Średniej rocznej liczby pożarów lasu w okresie ostatnich 10 lat przypadających na 10 km^2 powierzchni leśnej;
2. Udziału procentowego powierzchni drzewostanów rosnących na siedliskach boru suchego, boru świeżego, boru mieszanego świeżego, boru wilgotnego, boru mieszanego wilgotnego i lasu łęgowego;
3. Średniej wilgotności względnej powietrza na wysokości 0,5 m i procentowego udziału dni z wilgotnością ściółki mniejszą od 15% o godz. 9.00;
4. Średniej liczby mieszkańców przypadających na 0,01 km^2 powierzchni leśnej.

Według planów urządzenia lasu sporządzonych w 2012 roku Nadleśnictwa Białowieża, Browsk i Hajnówka zostały zaliczone do III, najniższej kzpl (zagrożenie małe), podobnie jak Białowieski Park Narodowy (BPN), dla którego kategorię zagrożenia pożarowego ustalono w planie ochrony w 2014 roku. Trzeba jednak zaznaczyć, że klasyfikacji zagrożenia pożarowego dokonano wówczas według nieobowiązujących wtedy zasad, które uległy zmianie w 2010 roku [3]. Z tego powodu w niniejszej pracy dokonano ustalenia kzpl dla nadleśnictw i BPN według obowiązującej metody oraz na podstawie aktualnych i dostępnych danych. W wyniku tej analizy poszczególne jednostki, jak i traktowane łącznie, zaliczono także do III kzpl, ale szczegółowe wyniki klasyfikacji pokazują nieznaczny (1–2-punktowy) wzrost sumy punktów za oceniane kryteria, co świadczy o tym, że zagrożenie pożarowe wzrasta. Wszystkie sąsiadujące z obszarem puszczańskim nadleśnictwa zaliczone są natomiast do I, najwyższej (zagrożenie duże) kzpl.

Podczas oceny ryzyka zagrożenia pożarowego należy mieć na uwadze także inne czynniki, poza uwzględnionymi we wcześniej wymienionym rozporządzeniu Ministra Środowiska. Bardzo istotnym w analizie ryzyka pod względem pożarowym Puszczy Białowieskiej jest natężenie ruchu turystyczno-rekreacyjnego, którego nie uwzględnia się w obowiązującej metodzie kategoryzacji na rzecz lokalnej gęstości zaludnienia. Według danych rejestrowanych przez BPN, głównie na podstawie liczby sprzedanych biletów, w ostatnich latach Puszczę odwiedzało rocznie około 140-150 tysięcy osób. W latach 2016-2018 prognozowane natężenie ruchu turystycznego wzrośnie o 15-20 tysięcy osób. Prawdopodobnie są to dane zaniżone, gdyż nie wszyscy odwiedzający Puszczę kupują bilety, szczególnie ludność miejscowa. Większej liczby osób odwiedzających Puszczę można oczekiwać tym bardziej, jeśli zostaną zrealizowane planowane inwestycje udostępniania lasów białowieskich. Takie natężenie ruchu turystycznego niesie ze sobą zagrożenie pod względem pożarowym, gdyż jak wykazały badania [3], zachodzi związek pomiędzy liczbą występujących pożarów a liczbą osób przebywających w lesie lub jego sąsiedztwie. Potwierdzeniem tej zależności jest również fakt wystąpienia największej liczby pożarów w Nadleśnictwie Hajnówka (tab. 1), którego obszary leśne i ich otulina w największym stopniu penetrowane są nie tylko przez przyjezdnych turystów, ale przede wszystkim przez ludność miejscową z sąsiadującej bezpośrednio z nimi Hajnówki.

2. A forest fire risk categorisation for the Białowieża Primeval Forest and the occurrence of forest fires

Forest fire risk categories (FFRC) are assigned to a forest district or national park in forest-area management plans or park protection plans. The method of classifying forest areas into fire risk categories is defined in the Regulation of the Minister of the Environment concerning the detailed rules of forest fire protection [2]. A risk category covers forests with similar levels of susceptibility to fires and is determined on the basis of the following:

1. The average annual number of forest fires over the last 10 years per 10 km^2 of forest area.
2. The percentage of forest stand area growing as dry coniferous forest, fresh coniferous forest, fresh mixed coniferous forest, wet coniferous forest, wet mixed coniferous forest and riparian forest habitats.
3. The average relative humidity of air at 0.5 m above ground and the percentage of days with the forest litter humidity lower than 15% at 9.00 a.m.
4. The average number of residents per 0.01 km^2 of forest area.

According to forest area management plans prepared in 2012, the Białowieża, Browsk and Hajnówka Forest Districts were classified under the 3rd, lowest FFRC (low risk), similarly to the Białowieża National Park (BNP), which was assigned a forest fire risk category in the conservation plan in 2014. It should be stressed, however, that the forest fire risk classification was made using no longer applicable rules, which had been changed in 2010 [3]. For this reason this article determines the FFRC for the forest districts and the BNP according to the currently applicable method and on the basis of current available data. Following this analysis, individual units, and all units in aggregate, were also assigned to the 3rd FFRC, but the detailed classification results show a slight (1-2-point) increase in the total points for the assessed criteria, which suggests that the fire risk is increasing. All forest districts neighbouring the primeval forest area were assigned to the 1st, the highest FFRC (high risk).

Other factors than those listed in the said Regulation of the Minister of the Environment should also be taken into account in forest fire risk categorisation. The intensity of tourist traffic is very important in analysing the fire risk for Białowieża Primeval Forest, but it is not recognised in the applicable categorisation method, and the local population density is used instead. According to the data recorded by the BNP, mainly on the basis of the number of tickets sold, the Forest has been visited by 140-150 thousand people per year in recent years. In 2016-2018, a 15-20 thousand increase in the volume of tourist traffic is expected. These data are probably understated, as not every visitor to the primeval forest purchases tickets, particularly local residents. More visitors are to be expected especially if the planned investments for increasing the Białowieża Forest's accessibility are completed. Such intensity of tourist traffic poses a fire risk, because, as studies have demonstrated [3], there is a correlation between the frequency of fires and the number of people present in the forest or in its vicinity. This correlation is also confirmed by the fact that the Hajnówka Forest District had the highest number of fires (Table 1), and its forest areas and their buffer zone are most frequently penetrated not only by visiting tourists but primarily by the local residents of the directly neighbouring town of Hajnówka.

The fire risk in the primeval forest is also increased by the location of three fuel and gas-storage and handling terminals within its bounds, and in neighbouring areas (EKOIL, OLPP, KRYPTON), the (currently being redeveloped) railway line

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

Na wzrost potencjalnego zagrożenia pożarowego Puszczy wpływa również zlokalizowanie na jej terenie i w sąsiedztwie trzech baz magazynowo-przeładunkowych paliw i gazu (EKOIL, OLPP, KRYPTON) oraz przebiegająca do nich linia kolejowa z Białorusi (aktualnie rozbudowywana), a także przewóz materiałów niebezpiecznych.

W ocenie ryzyka pożarowego należy także uwzględnić odstąpienie, szczególnie w ostatnich latach, od zasad gospodarki leśnej w nadleśnictwach puszczańskich, co powoduje zdecydowane pogorszenie się stanu sanitarnego, wzrost ilości martwego drewna oraz zmianę rodzaju pokrywy gleby ze ściółkowej na trawiastą, które sprzyjają wzrostowi zagrożenia pożarowego.

2.1. Występowanie pożarów lasu
Liczba pożarów i powierzchnia spalona

W latach 2000-2015 w Puszczy Białowieskiej miało miejsce 81 pożarów, w wyniku których spłonęło łącznie 38,66 ha – tabela 1. Najwięcej pożarów (15) odnotowano w roku 2003, a największą spaloną powierzchnię (7,85 ha) w 2002 roku. Szczegółowej analizy pożarów dokonano tylko za lata 2007-2015, ze względu na kompletne dane o pożarach z tego okresu zgromadzone w Krajowym Systemie Informacji o Pożarach Lasu. W tym okresie w Puszczy wystąpiły 24 pożary na powierzchni 11,35 ha, zaś w jej otulinie o szerokości 100 m odnotowano 47 pożarów gruntów nieleśnych, które stwarzały zagrożenie przerzutu ognia na puszczańskie obszary leśne. Średnia powierzchnia pożaru wyniosła 0,47 ha bez względu na analizowany okres. Dla porównania średnia dla Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Białystoku, na terenie której znajduje Puszcza Białowieska, w tym czasie wynosiła 0,35 ha. W 2015 roku, w którym warunki meteorologiczne szczególnie sprzyjały utrzymywaniu się dużego zagrożenia pożarowego lasu, miało miejsce 25% wszystkich pożarów za okres 2007-2015.

from Belarus leading to them and the transport of hazardous materials.

The forest fire risk categorisation should also take into account, especially in recent years, the departure from forest management principles in the Białowieża Forest districts, which leads to a significant deterioration in the sanitary conditions, an increase in the dead wood volume and an alteration in the type of soil covering from forest litter to grass, all of which contribute to an increase in fire risk.

2.1. The occurrence of forest fires
Frequency and burnt area

In 2000-2015 there were a total of 81 fires in the Białowieża Primeval Forest, resulting in a burnt area of 38.66 ha – see Table 1. The largest number of fires (15) occurred in 2003 and the highest burnt area (7.85 ha) was in 2002. A detailed analysis of fires was conducted only for 2007-2015, as complete data on fires from that period are gathered in the National Forest Fire Information System. In that period there were 24 fires in Białowieża over an area of 11.35 ha, and in its 100-m wide buffer zone there were 47 fires on non-forest land, which posed a threat of the fire's spreading to forest areas. The average fire area was 0.47 ha, regardless of the analysed period. For comparison, the average for the Regional Directorate of State Forests in Białystok, which includes the Białowieża Primeval Forest in its area, was 0.35 ha during that time. In 2015, when the weather conditions were particularly conducive to high forest fire risk 25% of all fires in the 2007-2015 period occurred.

Forest fire type

Most fires (62.5%) were soil cover fires, which were responsible for as much as 99.2% of the burnt area. Very frequent (compared to the national average, which was below 1%) were single tree fires (33.3%). In the analysed period

Tabela 1. Pożary w Puszczy Białowieskiej w latach 2000-2015 – według ich liczby i powierzchni spalonej
Table 1. Fires in the Białowieża Primeval Forest during the years 2000-2015 – frequency and area destroyed by fire

Rok/ Year	Liczba pożarów/ Frequency					Powierzchnia/Burnt area [ha]				
	Nadleśnictwo/ Forest District			Białowieski Park Narodowy/ Białowieża National Park	Łącznie/Total	Nadleśnictwo/Forest District			Białowieski Park Narodowy/ Białowieża National Park	Łącznie/Total
	Białowieża	Browsk	Hajnówka			Białowieża	Browsk	Hajnówka		
2000		3	4		7		0.61	1.2		1.81
2001		1	1		2		3.5	1.5		5
2002	4	4	5		13	1.6	1.22	5.03		7.85
2003	4	5	6		15	2.31	3.5	0.65		6.46
2004		1	1		2		0.01	0.14		0.15
2005		4	4		8		4.3	0.01		4.31
2006	1	3	6		10	0.01	0.51	1.21		1.73
2007		1	4		5		0.5	0.07		0.57
2008		1			1		0.1			0.1
2009			1	1	2			0.03	6.81	6.84
2010					0					0
2011			2		2			0.01		0.01
2012		1			1		1.5			1.5
2013		1	1		2		0.01	0.02		0.03
2014	2	1	2		5	0.02	0.03	0.02		0.07
2015		2	4		6		2.18	0.05		2.23
Łącznie/Total	**11**	**28**	**41**	**1**	**81**	**3.94**	**17.97**	**9.94**	**6.81**	**38.66**

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Rodzaj pożaru lasu

Najwięcej wszystkich pożarów (62,5%) stanowiły pożary pokrywy gleby, które objęły aż 99,2% powierzchni spalonej. Bardzo liczne (w porównaniu do średniej krajowej, wynoszącej mniej niż 1%) były pożary pojedynczych drzew (33,3%). W analizowanym okresie wystąpił jeden pożar podpowierzchniowy. Nie odnotowano żadnego pożaru całkowitego drzewostanu.

Siedliskowy typ lasu

Najwięcej pożarów miało swój początek na siedlisku lasu świeżego (29,2%), a największą powierzchnię ogień objął na siedlisku boru wilgotnego (zdecydował o tym pożar w BPN w 2009 roku). Łącznie najwięcej pożarów (41,7%) powstało na najbardziej podatnych na pożary siedliskach: boru mieszanego świeżego, boru świeżego i boru mieszanego wilgotnego, obejmując 33,5% ogólnej powierzchni spalonej.

Przyczyny pożarów

Wśród pożarów dominowały te, które powstały wskutek podpalenia (37,5%) i na zbliżonym poziomie te, których przyczyna była nieznana (33,3%). Kolejną grupę stanowiły pożary wynikłe z zaniedbania (16,7%). Należy zwrócić uwagę na bardzo wysoki procent pożarów powstałych wskutek wyładowań atmosferycznych (8,3%), w porównaniu do średniej krajowej, która kształtuje się na poziomie około 1%, co powodowane jest przez dużą liczbę wysokich drzew rosnących w Puszczy. Przerzuty ognia z sąsiadujących z lasami gruntów były przyczyną 4,2% pożarów. Głównym sprawcą pożarów był jednak człowiek i jego celowe bądź nieumyślne działanie.

3. Stan zabezpieczenia przeciwpożarowego Puszczy Białowieskiej

Zabezpieczenie przeciwpożarowe Puszczy Białowieskiej określają plan ratowniczy powiatu hajnowskiego oraz sposoby postępowania nadleśnictw i BPN na wypadek powstania pożaru lasu.

Schemat zabezpieczenia przeciwpożarowego obszarów leśnych Puszczy Białowieskiej przedstawiono na rycinie 1. Wykrywanie pożarów ze stałych punktów obserwacyjnych możliwe jest wyłącznie w części należącej do Nadleśnictwa Browsk, a także w północnej części Nadleśnictw Białowieża i Hajnówka oraz BPN. Wykrywanie pożarów w pozostałej części Puszczy, z racji znacznej odległości od jedynej dostrzegalni zlokalizowanej w Nadleśnictwie Browsk, może być realizowane wyłącznie z wykorzystaniem patroli naziemnych lub przez osoby postronne. Najczęściej, bo aż 91,7% pożarów w Puszczy w latach 2007-2015 wykryły osoby postronne. Pozostałe pożary zostały wykryte przez służbę leśną. Kolejnym bardzo istotnym elementem systemu zabezpieczenia przeciwpożarowego jest sieć zaopatrzenia wodnego. Dla obszarów zaliczanych do III kzpl nie ma jednoznacznych wymagań dotyczących odległości od najbliższego punktu czerpania wody. Mimo to, w przeprowadzonej analizie oceniono odległość puszczańskich kompleksów leśnych od tych punktów. Zdecydowana większość z nich znajduje się w odległości mniejszej niż 5 km. Wyjątek stanowi fragment obszaru BPN w jego wschodniej części oraz niewielki teren w północnej części granicy Nadleśnictw Białowieża i Hajnówka. Trzeba dodać, że od wielu lat obserwowane obniżenie poziomu wód gruntowych sprawia czasowe trudności w możliwości poboru wody ze zbiorników naturalnych.

Organizacja Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego w otoczeniu Puszczy Białowieskiej oparta jest o siły Jednostki Ratowniczo-Gaśniczej PSP w Hajnówce oraz piętnastu jednostek OSP. Samoloty, które mogą być wykorzystywane do gaszenia pożarów, stacjonują w Leśnej Bathere was one ground fire. There were no fires of an entire forest stand.

Forest habitat type

Most fires started in a fresh forest habitat (29.2%) and the largest area covered by fire was in the wet coniferous forest habitat (the BNP fire in 2009 was definitive). In total, the largest number of fires occurred in the habitats most susceptible to fires – fresh mixed coniferous forest, fresh coniferous forest and wet mixed coniferous forest, which accounted for 33.5% of all the burnt area.

The causes of fires

Arson was the most frequent cause of fires (37.5%), while 33.3% of fires had unknown causes. Another group of fires was through negligence (16.7%). There was a notably high number of fires caused by lightning (8.3%) as compared to the national average, which is about 1%. This was due to the large number of high trees growing in the Primeval Forest. Fire spreading from land neighbouring the forest was responsible for 4.2% of fires. All in all, the primary cause of fires was human activity, deliberate or unintentional.

3. The fire protection status in the Białowieża Primeval Forest

The fire protection system in the Białowieża Primeval Forest defines a rescue plan for the Hajnówka District and the event of forest fires.

Figure 1 shows the forest fire protection outline for the Białowieża Primeval Forest. Fire detection from fixed observation points is possible only in the part belonging to the Browsk Forest District and also in the northern part of the Białowieża and Hajnówka Forest Districts, and the BNP. Detecting fires in other parts of the Primeval Forest, due to the considerable distance from the only fire lookout tower located in the Browsk Forest District, is only possible with ground patrols or by third parties. Most fires, as many as 91.7%, were detected by third parties. The remaining fires were detected by the forest service. Another very important element in the fire protection system is the water supply network. There are no clear requirements for areas included in the 3rd FFRC regarding the distance from the nearest water draw-off point. Still, the analysis included the distance of the primeval forest complexes from such points. The vast majority of these are within a distance of less than 5 km. The exception is a segment of the BNP in its eastern part and a small area in the northern part of the Białowieża and Hajnówka Forest District perimeters. It should be added that the reduced level of groundwater causes temporary difficulties for taking water from natural reservoirs.

The organisation of the National Firefighting and Rescue System near the Białowieża Primeval Forest is based on the fire and rescue unit of the State Fire Service in Hajnówka and fifteen volunteer fire brigades. Airplanes that might be used for extinguishing fires are stationed in the Forest Airbase in Białystok. The lack of an operational base for airplanes near the Primeval Forest makes it impossible to achieve the 20-minute arrival time specified in the Forest Fire Protection Manual [4].

The level of forest fire risk for the Białowieża Primeval Forest area corresponds to the level determined for the 14th prognostic zone. This zone, which covers 13 forest districts, includes the Białowieża National Park. The basis for determining fire risk is the values of the meteorological parameters measured in the Bielsk, Rudka and Dojlidy Forest Districts, and the litter moisture measured only at one prognostic point

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

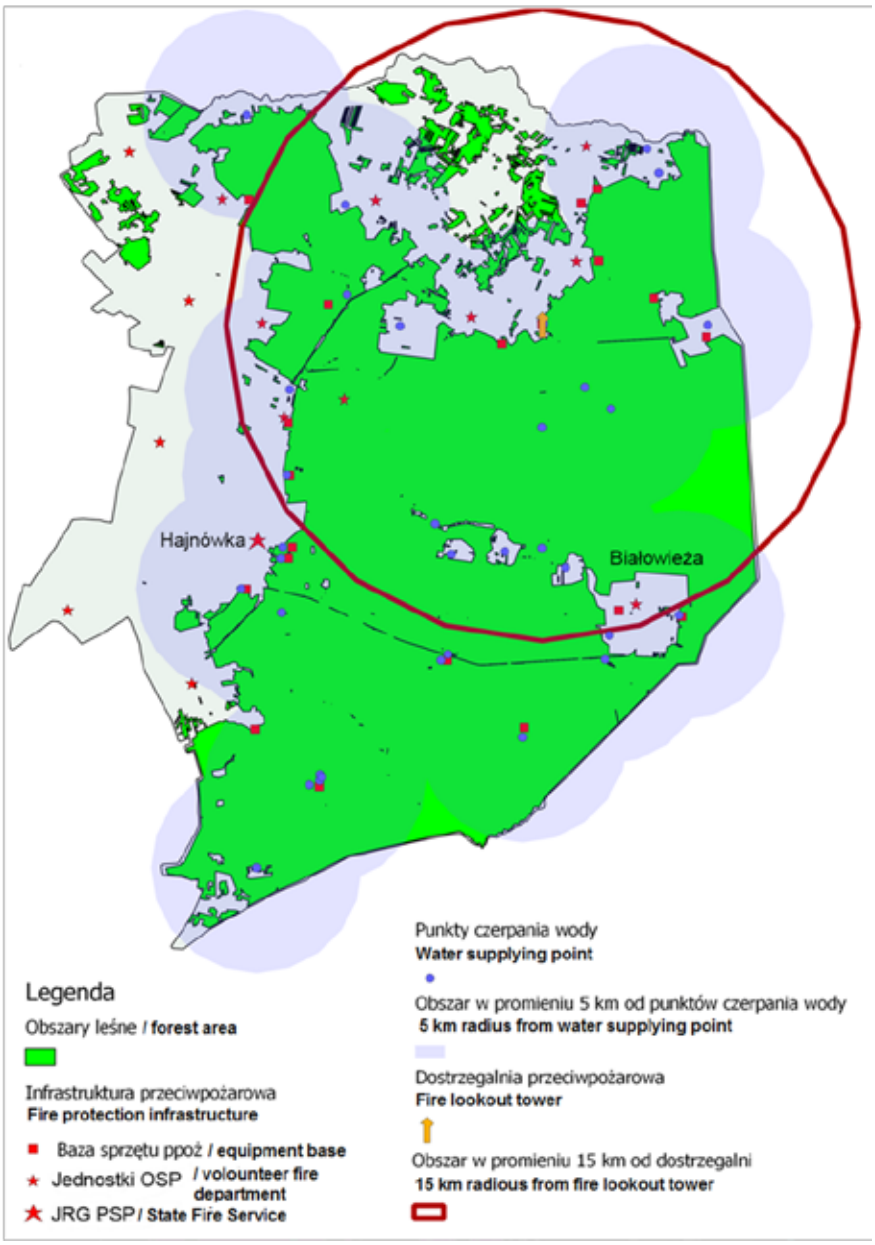
zie Lotniczej w Białymstoku. Brak lądowiska operacyjnego w pobliżu Puszczy uniemożliwia zapewnienie 20-minutowego czasu dolotu, określonego w Instrukcji Ochrony Przeciwpożarowej Lasów [4].

Stopień zagrożenia pożarowego lasu dla obszaru Puszczy Białowieskiej odpowiada stopniowi ustalanemu dla 14 strefy prognostycznej. W granicach tej strefy, obejmującej swym zasięgiem 13 nadleśnictw, znajduje się również Białowieski Park Narodowy. Podstawą do ustalenia stopnia zagrożenia pożarowego są wartości parametrów meteorologicznych mierzone w Nadleśnictwach Bielsk, Rudka i Dojlidy, a także wilgotność ściółki mierzona tylko w jednym punkcie prognostycznym – Dojlidy. Odległość punktów pomiaru parametrów, stanowiących podstawę do ustalenia aktualnego zagrożenia pożarowego dla obszaru Puszczy Białowieskiej, wynosi od 30 do 80 km, przy czym wartość wilgotności ściółki (bardzo istotnego parametru wpływającego na poziom zagrożenia) mierzona jest w odległości ok. 80 km.

– Dojlidy. The distances between the parameter measurement points forming the basis for determining the current fire risk for the Białowieża Primeval Forest area are 30 to 80 km, whereas the litter moisture value (a very important parameter affecting the risk level) is calculated in 80-km distances.

4. The impact of spruce tree degradation on fire risk

The weight of combustible material per unit of forest area (in firefighting defined as fire load and expressed in kg/m^2, and currently termed fire load density measured in MJ/m^2) is the primary criterion for assessing the potential fire risk. In forest fire protection the fire load means the weight of combustible forest biomass expressed in kg/m^2 or t/ha. In general, the level of the fire load determines the energy characteristics of the combustion process, which include the amount of heat released, the heat release rate, the heat release rate per



Ryc. 1. Schemat zabezpieczenia przeciwpożarowego Puszczy Białowieskiej
Fig. 1. Forest fire protection outline for the Białowieża Primeval Forest
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

4. Wpływ rozpadu drzewostanów świerkowych na zagrożenie pożarowe

Ilość materiału palnego w przeliczeniu na jednostkę powierzchni leśnej (w pożarnictwie określane jako obciążenie ogniowe wyrażane w kg/m^2, obecnie nazwane jako gęstość obciążenia ogniowego mierzona w MJ/m^2) jest podstawowym kryterium oceny potencjalnego zagrożenia pożarowego. W ochronie przeciwpożarowej lasu przez obciążenie ogniowe rozumie się ilość biomasy leśnej mogącej ulec spaleniu, wyrażanej w kg/m^2 lub t/ha. Ogólnie rzecz biorąc, od wielkości obciążenia ogniowego zależy charakterystyka energetyczna procesu spalania, określana między innymi przez: ilość wydzielonego ciepła, moc pożaru, gęstość mocy pożaru, liniową intensywność pożaru, temperaturę spalania oraz czas trwania pożaru. Od obciążenia ogniowego zależy także konieczna ilość środka gaśniczego potrzebna do likwidacji pożaru. Zatem im większe jest obciążenie ogniowe, tym większe jest zagrożenie pożarowe, a w wypadku powstania pożaru będzie on miał bardziej dynamiczny przebieg, w efekcie czego spowodować może większe szkody w ekosystemie. Jednak oprócz ilości potencjalnie palnej biomasy w lesie, o poziomie zagrożenia pożarowego decyduje także jej struktura przestrzenna (gęstość, wyrażona w kg/m^3) oraz zdolność pochłaniania wody – nasiąkania i jej oddawania – przesychania, przede wszystkim przez martwe materiały leśne, w odróżnieniu od żywych, których wilgotność jest wyższa i względnie stabilna. Te dwie cechy (nasiąkanie i przesychanie) decydują o stanie wilgotności materiału palnego, który warunkuje możliwość inicjacji spalania. Dla materiałów roślinnych wilgotność wynosząca 30% jest progiem granicznym, powyżej którego powstanie pożaru lasu od punktowych bodźców cieplnych i jego rozprzestrzenianie się jest mało prawdopodobne [5].

Obciążenie ogniowe zależy głównie od rodzaju materiału palnego, składu gatunkowego, siedliskowego typu lasu i wieku drzewostanu. Na jego wielkość mają wpływ: sposób zagospodarowania lasu, stan sanitarny drzewostanu i rodzaj zabiegów gospodarczych. Ze względu na zależność obciążenia ogniowego od wielu czynników jest ono bardzo zróżnicowane, nawet w zbliżonych warunkach siedliskowo-drzewostanowych. Nie dysponujemy obecnie pełnymi danymi, dotyczącymi kształtowania się obciążenia ogniowego w naszych lasach, gdyż do tej pory nie było kompleksowych badań z tego zakresu. Prowadzono tylko prace pilotażowe w latach 70. i 80. [6], a w latach 90. ubiegłego wieku badania ograniczono do borów: suchego, świeżego i mieszanego świeżego w I, II i III klasie wieku [7-8]. Z powyższych prac wynika, że średnie obciążenie ogniowe dla pokrywy trawiastej wynosi ok. 0,5 kg/m^2, dla pokrywy wrzosowej waha się od 0,6 do 1,7 kg/m^2, dla pokrywy ściółkowej od 0,6 do 2,6 kg/m^2, a dla drzewostanu sosnowego od kilku do kilkunastu kg/m^2.

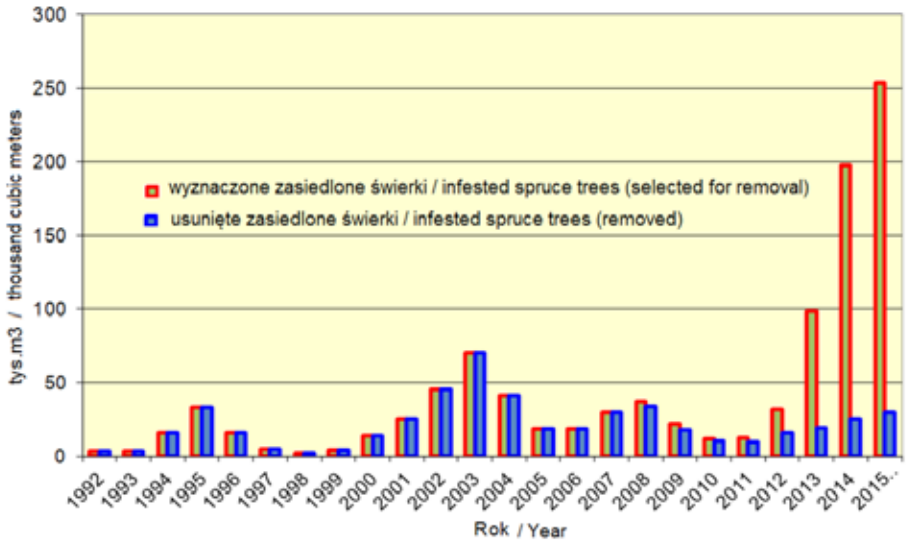
Proces zamierania drzewostanów świerkowych w Puszczy Białowieskiej przybrał na sile w latach 2013-2015 i będzie on narastał w następnych latach. Według danych nadleśnictw prognozuje się go od 5 do 10 m^3/ha/rok. Rycina 2 prezentuje rozkład masy wydzielonego posuszu świerkowego w Puszczy Białowieskiej w latach 1992-2015 (stan na 30.09.2015 r.). Z danych Regionalnej Dyrekcji Lasów Państwowych w Białymstoku wynika, że w latach 2012-2015 zamarło 406436 świerków o masie 577,4 tys. m^3, a powierzchnia, na której doszło do rozpadu drzewostanów wynosi 2954 ha. Analiza zmienności liczby zasiedlonych drzew oraz powierzchni drzewostanów w stanie rozpadu pozwala na przypuszczenie, że w ciągu najbliższych lat areał tych drzewostanów może sięgnąć 10000 ha, czyli obejmie prawie całą powierzchnię, na której świerk jest gatunkiem panującym. Taka ilość martwego drewna zwiększy obciążenie ogniowe, powodując wzrost potencjalnego zagrożenia pożarowego. Dla porównania na terenie Białowieskiego Parku Narodowego ilość martwego drewna w 2009 roku w Obrębie Ochronnym Orłówka wynosiła 108 m^3/ha (drewno leżące) i 50 m^3/ha (stojące), a w obrębie Hwoźna odpowiednio 38 m^3/ha i 43 m^3/ha. W tym samym roku powierzchnia drzewostanów w fazie rozpadu wyniosła blisko 550 ha.

unit area, the forest fire linear intensity, the combustion temperature and the fire duration. The fire load also determines the amount of extinguishing agent needed to extinguish the fire. As a result, the higher the fire load, the higher the fire risk, and, should a fire occur, it will be more dynamic, causing greater damage to the ecosystem. In addition to the weight of potentially combustible biomass in the forest fire risk is also influenced by its spatial structure (density, expressed in kg/m^3) and water absorption capacity – soaking up and releasing – drying up, mostly by dead forest material, which is unlike live matter, which has a higher and relatively stable moisture content. These two features (soaking up and drying up) determine the moisture content of the combustible material, which affects the propensity for combustion initiation. For plant material, a moisture content of 30% is the threshold value above which there is a low probability of the occurrence and propagation of forest fires from point heat stimuli [5].

Fire load mainly depends on the type of combustible material, species composition, forest habitat type and the age of the forest stand. Its value is influenced by the silvicultural system, the sanitary status of the forest stand and the type of silvicultural measures. As fire load depends on a number of factors, it is very varied, even in similar habitats and forest stand conditions. Currently we do not have complete data on the fire load structure in our forests, as there have been no comprehensive studies in this field to date. Only pilot works were conducted in the 1970s and 1980s. [6], and in the 1990s the research was limited to coniferous forests: dry, fresh and mixed fresh in the 1st, 2nd and 3rd-age classes [7-8]. The studies mentioned above demonstrated that the fire load was ca. 0.5 kg/m^2 for grass cover, between 0.6 and 1.7 kg/m^2 for heather cover, between 0.6 and 2.6 kg/m^2 for litter cover and from several to a dozen or more kg/m^2 for pine forest stands.

The dieback process of spruce forest stands in the Białowieża Primeval Forest intensified in 2013-2015, and is expected to rise in the coming years. According to forest district data, it is expected to involve 5 to 10 m^3/ha/year. Figure 2 presents the distribution of the volume of isolated spruce snags in the Białowieża Primeval Forest in 1992-2015 (as at 30.09.2015). The data of the Regional Directorate of State Forests in Białystok shows that in 2012-2015 406436 spruces with a volume of 577.4 thousand m^3 died, and the area in which forest stand degradation occurred was 2954 ha. An analysis of the number of infested trees and the area of forest stands in degradation makes it possible to assume that over the coming years the area of those forest stands might reach 10,000 ha, covering nearly the entire area in which spruce is the dominant species. This amount of dead wood will increase the fire load, resulting in a higher potential fire risk. For comparison, within the Białowieża National Park the amount of dead wood in 2009 in the Orłówka Protection Precinct was 108 m^3/ha (lying dead wood) and 50 m^3/ha (snags), and in the Hwoźna Precinct it was 38 m^3/ha and 43 m^3/ha respectively. In the same year the area of forest stands in the degradation phase was nearly 550 ha.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13



Ryc. 2. Miąższość wyznaczonych i usuniętych świerków zasiedlonych przez kornika drukarza w latach 1992-2015 (rok 2015 do 30.09)
Fig. 2. The volume of selected and removed spruce trees infested by the bark beetle during the years 1992-2015 (2015 up to 30.09)
Źródło: Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych Białystok.
Source: The Regional Directorate for State Forests in Białystok.

Ryc. 3. Martwe zalegające świerki stanowiące duże obciążenie ogniowe w zamarłych drzewostanach
Fig. 3. Fallen spruce trees form vast amounts of combustible material
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Zagrożenie to narasta w sytuacji, gdy martwe drzewa, uschnięte gałęzie o luźnej, przestrzennej strukturze sprzyjającej inicjacji i intensyfikacji spalania zalegają na dnie lasu, na którym powstaje około 99% pożarów (ryc. 3 i 4).

The fire risk rises in situations where dead trees and branches with loose spatial structures conducive to combustion initiation and intensification fill the forest floor, which is where nearly 99% of fires start (Fig. 3 and 4).

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 143–160
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

Ryc. 4. Zamarły drzewostan świerkowy z dużą liczbą martwych, leżących drzew
Fig. 4. Dead spruce stock with a large amount of fallen deadwood
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Ryc. 5. Martwy drzewostan z silnie rozwiniętą pokrywą trawiastą
Fig. 5. Dead spruce stock covered by a robust layer of grass
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

W takich miejscach szacuje się, że ilość wysuszonej i podatnej na zapalenie biomasy (obciążenia ogniowego) wzrosła od kilku do kilkunastu razy w porównaniu do średnich obciążeń notowanych w warunkach normalnych. Leżące na dnie lasu kłody, obecnie ze względu na ich gęstość drewna oraz mniejszą podatność na zapalenie w porównaniu do innych rodzajów materiałów leśnych stanowią mniejsze zagrożenie pod względem pożarowym. Jednak z upływem czasu, w miarę postępującego rozkładu drewna, ich rola pożarowa będzie się zmieniała i w wypadku powstania pożaru będą stanowiły podatny na zapalenie materiał, który będzie wydłużał czas trwania spalania.

Zachodzący rozpad drzewostanów z udziałem świerka powoduje nie tylko wzrost ilości palnej biomasy, ale stwarza dodatkowe zagrożenie pożarowe wynikające z powstawania płazowin. Sprzyjają one tworzeniu się pokrywy trawiastej, stwarzającej bardzo duże zagrożenie pożarowe, w szczególności kiedy jest martwa i charakteryzuje się luźną strukturą przestrzenną (małą gęstością), która wpływa na jej szybkie przesychanie (ryc. 5).

Dla celów poglądowych na rycinie 6 przedstawiono związek między prędkością frontu pożaru a gęstością materiału dla różnych rodzajów pokrywy gleby, opracowany na podstawie wyników badań terenowych rozprzestrzeniania się pożaru dla różnych typów materiałów leśnych o zróżnicowanej gęstości, prowadzonych przez zespół badawczy z Zakładu Ochrony Przeciwpożarowej Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa (IBL). Na rycinie widać, że pożary pokrywy trawiastej osiągały największe prędkości w porównaniu do pozostałych rodzajów pożarów pokrywy gleby. Suche trawy szybko tracą

It is estimated that in such places the amount of dried-up and combustible biomass (fire load) increased by several to a dozen or so times in comparison to the average loads recorded under normal conditions. Logs lying on the forest floor are currently less of a fire threat due to their wood density and lower flammability in comparison to other types of forest material. With time, however, as the degradation of the wood progresses, their fire behaviour will change, and, when a fire starts, they will become a flammable material lasting for the duration of combustion.

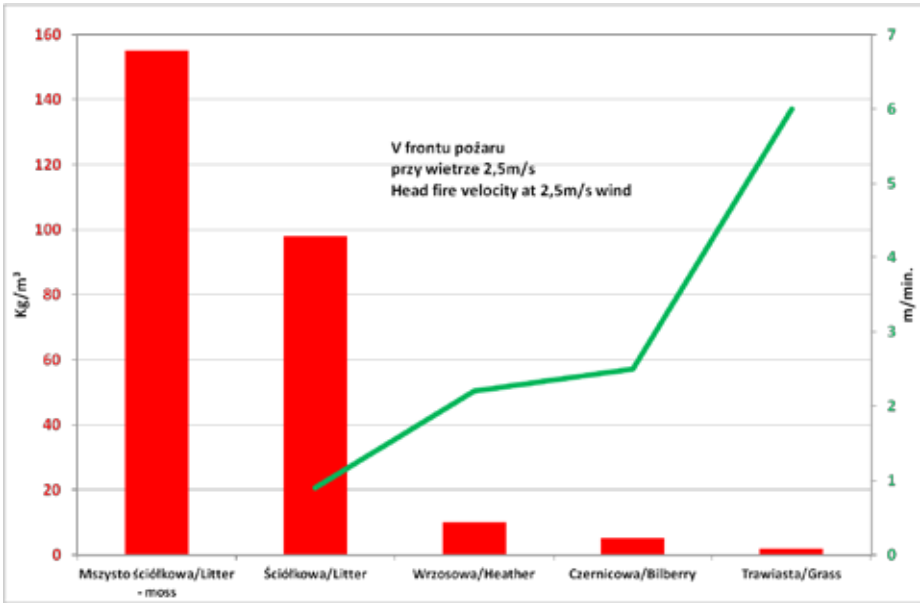
The observed deterioration of forest stands, including spruces, does not only cause an increase in the amount of combustible biomass, but it also creates an additional fire threat due to the presence of irregular woodland. It is conducive to the emergence of grass cover, which generates a very high fire risk, especially when it is dead and characterised by a loose spatial structure (low density), which leads to its rapid drying up (Fig. 5).

For illustrative purposes, Fig. 6 shows the correlation between the fire-front velocity and the density of the material for various types of soil cover, prepared on the basis of the results of field studies of fire propagation for various types of forest materials of various densities, conducted by the research team from the Laboratory of Forest Fire protection of the Forest Research Institute (the IBL). The figure shows that fires of the grass cover reached the highest velocities compared to other types of fires of soil cover. Dry grass quickly loses its absorbed moisture, which makes it the primary fire-initiating material, in addition to pine litter. Table 2 presents the results of labora-

BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 143–160
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

wchłoniętą wodę, stając się obok ściółki sosnowej podstawowym materiałem inicjującym pożar. W tabeli 2 zaprezentowano wyniki badań laboratoryjnych dynamiki przesychania martwych materiałów leśnych przeprowadzonych w IBL [8]. Potwierdzają one, że martwy trzcinnik leśny (*Calamagrostis arundinacea*) osiąga najniższą wilgotność w bardzo krótkim czasie.

tory tests of the dynamics of drying in dead forest material as conducted by the IBL [8]. They confirm that dead reed grass (*Calamagrostis arundinacea*) reaches its lowest moisture content in a very short time.



Ryc. 6. Związek wskaźnika struktury górnej warstwy różnych rodzajów pokrywy w drzewostanie I i II klasy wieku na siedliskach Bs, Bśw, BMśw
z prędkością frontu pożarów kontrolowanych przy prędkości wiatru 2,5 m/s
Fig. 6. The relation between the structural factor for the upper layer of different types of tree stock covering, for age growth categories I and II in the DCF, FCF, FMCF forest habitat, and velocity of fire influenced by a wind speed of 2.5 m/s)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 2. Dynamika utraty wody przez martwe materiały leśne w warunkach laboratoryjnych
Table 2. Water loss by dead forest material in laboratory conditions

Rodzaj materiałów leśnych/Type of forest material	Wilgotność początkowa/Initial moisture content [%]	Czas przesychania [godz.] Drying time [hours]	Wilgotność po czasie przesychania Moisture after drying time [%]	Wilgotność końcowa po 288 godz. Final moisture after 288 hours [%]
Ścioła górna/Upper litter layer	37.92	48	11.05	9.85
Ścioła dolna/Lower litter layer	56.42	240	6.63	5.71
Korowina „gruba"/"Thick" bark	32.02	144	14.69	12.65
Korowina „lustrzana"/"Shining" bark	25.77	24	8.66	4.82
Leżanina (grubość do 0,5 cm)/Lying deadwood (thickness up to 0.5 cm)	24.77	24	17.32	14.88
Leżanina (grubość 0,6-1,0 cm) Lying deadwood (thickness between 0.6-1.0 cm)	21.14	24	12.68	9.15
Szyszki/Cones	27.68	120	10.09	6.65
Sucha trawa (trzcinnik)/Dry grass (reed grass)	47.82	48	5.15	5.12

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Na odkrytych płazowinach wielkości prędkości wiatru będą zdecydowanie większe niż w drzewostanie, w związku z czym w wypadku powstania pożaru będzie się on rozprzestrzeniał szybciej i obejmie większą powierzchnię. Z wykorzystaniem aplikacji „Model pożaru lasu" opracowanej w Instytucie Badawczym Leśnictwa [9] obliczono podstawowe parametry pożaru (prędkość frontu, powierzchnię, obwód) przy zakładanym czasie swobodnego rozprzestrzeniania się

On open irregular woodland the wind speed values are considerably higher than in forest stands, so if a fire occurs, it will spread faster and cover a larger area. Using the application *"Model pożaru lasu" ("The Forest Fire Model")* developed by the Forest Research Institute [9] the basic fire parameters were calculated (fire-front velocity, area, perimeter) with the assumed time of free fire propagation of 30 minutes (the time assumed by the State Fire Service District Headquarters in its rescue plans is 25 minutes).

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 143–160
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

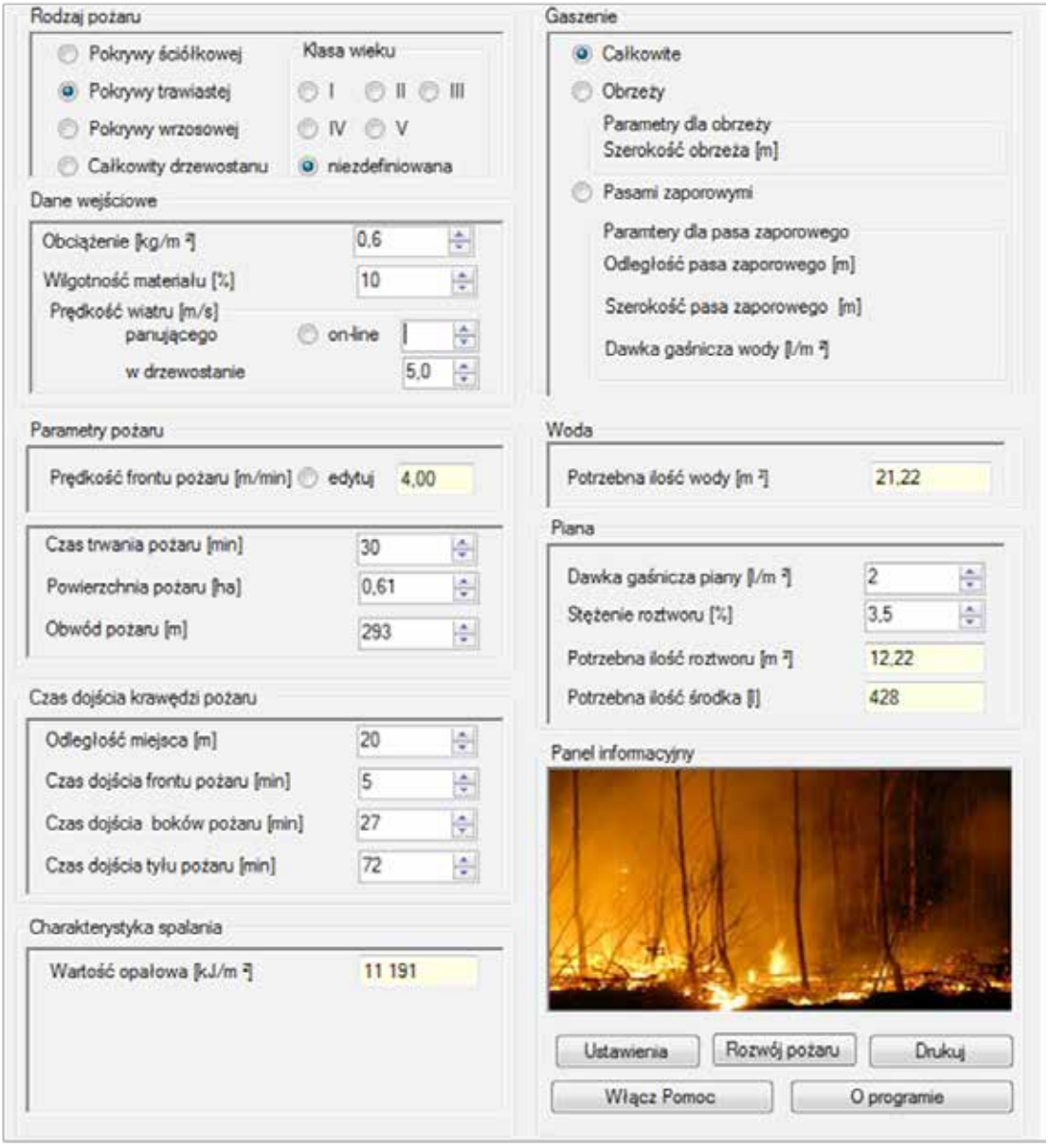
pożaru wynoszącym 30 min (zakładany przez Komendę Powiatową PSP w planach ratowniczych wynosi 25 min).

Przyjęto, że prędkość wiatru na odkrytej przestrzeni wynosić będzie 5 m/s, w związku z tym w drzewostanie zmaleje ona do około 2 m/s. Na ryc. 7 przedstawiono obliczenia dla pożaru pokrywy trawiastej na odkrytej przestrzeni (płazowinie), a na ryc. 8 dla pokrywy ściółkowej w drzewostanie. Prędkość frontu pożaru i obwód w pierwszym przypadku będą około 6-5 razy większe, zaś powierzchnia blisko 30-krotnie większa. Spowoduje to potrzebę 23-krotnego zwiększenia ilości potrzebnej wody do ugaszenia ognia, co wiąże się z koniecznością dysponowania do pożaru zamiast jednego, kilku samochodów gaśniczych, co wpłynie także na wzrost kosztów akcji ratowniczej.

Te poglądowe dane świadczą o większym zagrożeniu możliwością rozprzestrzeniania się ognia na powierzchniach objętych rozpadem drzewostanów z udziałem świerka, na których pojawił się łatwopalny trzcinnik, stanowiący szczególne zagrożenie pożarowe wczesną wiosną i jesienią, a także podczas długotrwałych okresów suszy letniej.

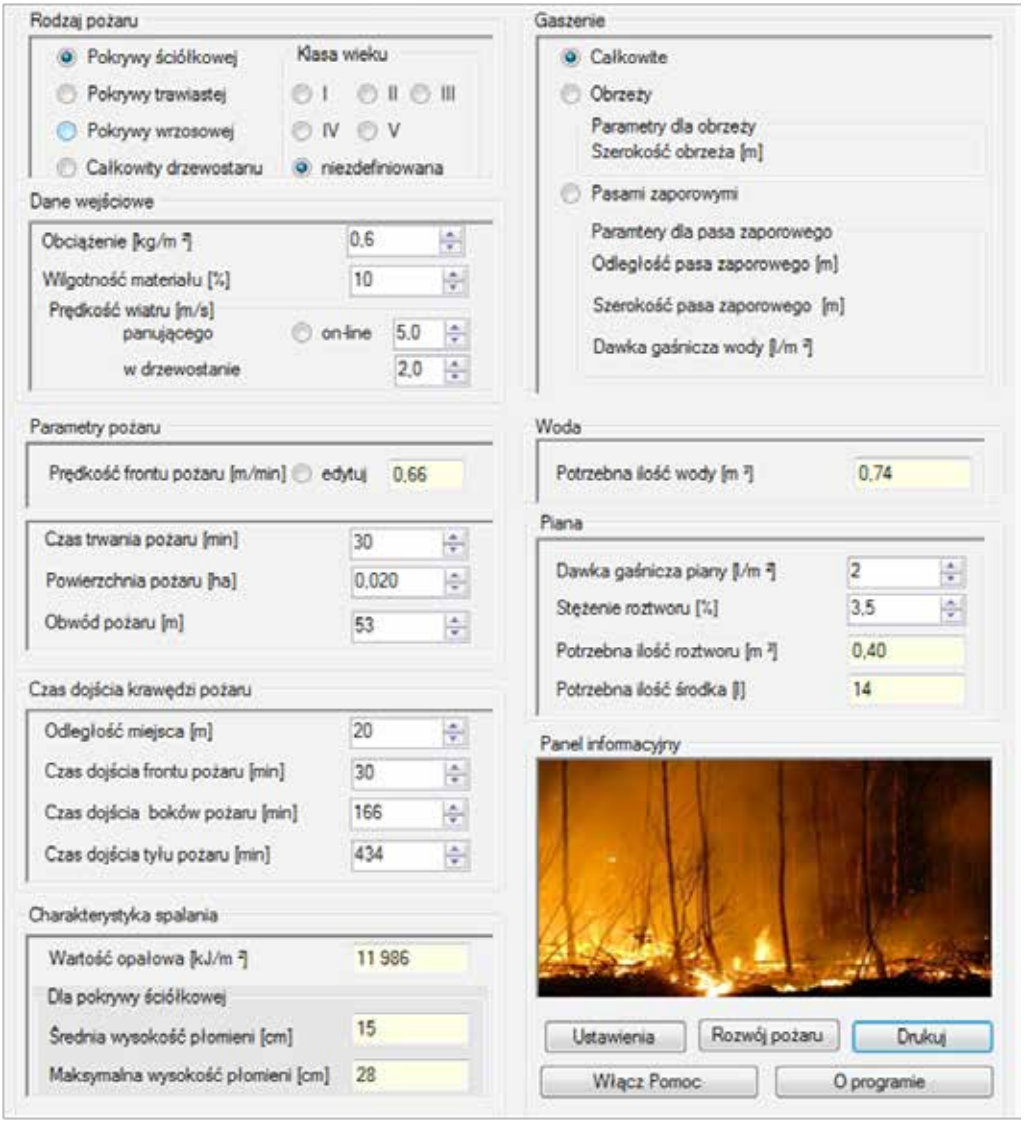
It was assumed that the wind speed in an open space is 5 m/s and limited to 2 m/s in a forest stand. Fig. 7 presents calculations for a grass cover fire in an open space (irregular woodland) and Fig. 8 for litter cover in a forest stand. Fire-front velocity and perimeter in the first case will be about 6-5 times higher and the area will be 30 times higher. This will require a 23-fold increase in the amount of water needed to extinguish the fire, which requires the dispatching of several firefighting trucks instead of one, increasing the costs of the rescue operation.

These illustrative data demonstrate the higher risk of fire propagation in areas with deteriorated forest stands, including spruces, where combustible reed grass appeared, being a particular fire risk in early spring and autumn, and also during long summer droughts.



Ryc. 7. Wyniki obliczeń modelowego rozprzestrzeniania się pożaru dla pokrywy trawiastej na przestrzeni otwartej
Fig. 7. Calculations results dealing with the fire propagation of grass covering in open spaces
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13



Ryc. 8. Wyniki obliczeń modelowego rozprzestrzeniania się pożaru dla pokrywy ściółkowej w drzewostanie
Fig. 8. Calculations results dealing with the fire propagation of organic forest litter
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Leżące drzewa stanowią utrudnienie w organizowaniu akcji ratowniczo-gaśniczej. Mogą one blokować dojazd jednostek ratowniczych do pożaru oraz ograniczać dostęp do miejsc objętych ogniem. Według danych z BPN w 2014 roku na obszarze puszczy odnotowano 545 drzew wywróconych na drogi, natomiast w pierwszych 9 miesiącach roku 2015 takich drzew było aż 654 – tabela 3. Nadleśnictwa nie podały szczegółowej liczby takich przypadków, informując tylko ogólnie, że na terenie każdego z nich mają one miejsce.

Lying trees are a hindrance in organising a rescue and fire-fighting operation. They can prevent emergency units from accessing the fire and restrict access to fire sites. According to BNP data, in 2014 there were 545 trees fallen on roads in the primeval forest and in the first 9 months of 2015 as many as 654 – see Table 3. The forest districts did not specify the exact number of such events, but reported that they occurred in each one of them.

Tabela 3. Blokowanie dróg przez wywracające się drzewa w latach 2014-2015
Table 3. Roads blocked by fallen trees during the years 2014-2015

Rok/ Year	Obręb ochronny/ Protected area	Liczba drzew wywróconych na drogi (szt.) Number of fallen trees on the roads												Razem/Total
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
2014	Orłówka	9	7	32	10	8	12	6	9	10	10	14	6	133
	Hwoźna	30	6	128	10	28	48	17	4	27	11	55	48	412
2015	Orłówka	39	13	160	20	36	60	23	13	37				401
	Hwoźna	59	4	3	52	14	4	75	14	28				253

Źródło: Białowieski Park Narodowy.
Source: Białowieża National Park.

Duża liczba leżących martwych kłód świerkowych może także ograniczać dostęp dla jednostek straży pożarnej i utrudniać szybkie i skuteczne podjęcie akcji gaśniczej, na co uwagę zwracało dowództwo Komendy Powiatowej PSP w Hajnówce. Zdaniem Komendy blokowanie przejezdności dróg w obrębie Puszczy Białowieskiej zdarza się bardzo często, szczególnie podczas silnych wiatrów bądź burz. Wymowną ilustracją tych występujących zagrożeń są fotografie na rycinach 9 i 10, które obrazują skalę skutków wywracania się drzew (nie tylko martwych), do których doszło w Puszczy Białowieskiej 23 lipca 2015 roku, kiedy została całkowicie zablokowana droga Czerlonka-Budy.

A large number of dead logs can also restrict access for fire service units and hinder quick and effective extinguishing, which was pointed out by the command of the State Fire Service District Headquarters in Hajnówka. According to the District Fire Department, roads within the Białowieża Primeval Forest are very often impassable, especially during strong winds and storms. The photographs presented in Fig. 9 and 10 are a telling illustration of the threats, showing the consequences of fallen trees (not only dead) in the Białowieża Primeval Forest on 23 July 2015, when the Czerlonka-Budy road had been completely blocked.

Ryc. 9. Samochód PSP na drodze publicznej Czerlonka-Budy zablokowanej przez powalone drzewa 23 lipca 2015 roku
Fig. 9. State Fire Service vehicle on a public road blocked by fallen trees between Czerlonka and Budy on 23.07.2015
Źródło: KP PSP Hajnówka.
Source: State Fire Service District Headquartes in Hajnówka.

Ryc. 10. Droga publiczna Hajnówka-Białowieża zablokowana przez powalone drzewa w dniu 23 lipca 2015 roku
Fig. 10. A public road blocked by fallen trees between Hajnówka and Białowieża on 23.07.2015
Źródło: KP PSP Hajnówka.
Source: State Fire Service District Headquartes in Hajnówka.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

W takich nadzwyczajnych sytuacjach brak dojazdu do miejscowości uniemożliwia zagwarantowanie w nich właściwego poziomu bezpieczeństwa publicznego, co powinno być również uwzględnione w szerszym kontekście analizy możliwych zagrożeń, a nie tylko zagrożenia pożarowego, będącego przedmiotem niniejszego artykułu.

5. Stan zabezpieczenia przeciwpożarowego Puszczy Białowieskiej w świetle prawa

Podstawy prawne zabezpieczenia przeciwpożarowego obszarów leśnych tworzą ustawy: o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. 2009 Nr 178, poz. 1380) [10] i o lasach (Dz. U. 1991 Nr 101, poz. 444) [11] oraz podstawowe przepisy wykonawcze, zawarte w rozporządzeniach: Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji (Dz. U. 2010 Nr 109, poz. 719) [12] i Ministra Środowiska (Dz. U. 2006 Nr 58, poz. 405) [2]. Według art. 1 ustawy o ochronie przeciwpożarowej ochrona ta polega na realizacji przedsięwzięć, mających na celu ochronę środowiska przed pożarem poprzez: zapobieganie powstawaniu i rozprzestrzenianiu się pożaru, zapewnienie sił i środków do jego zwalczania oraz prowadzenie działań ratowniczych. Artykuł 3. tej ustawy nakłada obowiązek na korzystających ze środowiska zabezpieczenia przed zagrożeniem pożarowym, a na właścicieli bądź zarządców odpowiedzialność za naruszenie przepisów przeciwpożarowych w trybie i na zasadach określonych w innych przepisach. W ustawie o lasach (art. 9, ust. 1, pkt. 1) został nałożony obowiązek kształtowania równowagi w ekosystemach leśnych i podnoszenia ich naturalnej odporności, w szczególności poprzez wykonywanie zbiegów profilaktycznych oraz ochronnych zapobiegających powstawaniu i rozprzestrzenieniu się pożarów. W świetle powyższych zapisów należy stwierdzić, że obowiązki wynikające z ustaw nie są w pełni wykonywane w Puszczy Białowieskiej, gdyż równowaga w ekosystemie leśnym, w którym dochodzi do rozpadu drzewostanów świerkowych, została naruszona. Drzewostany nie odznaczają się naturalną odpornością, a charakterystyka pożarowa leśnej biomasy sprzyja możliwości powstania i rozprzestrzeniania się ognia. Trudno uznać wykonywane działania, jeśli w ogóle są one prowadzone, za odpowiednie z zakresu profilaktyki przeciwpożarowej i spełniające swą rolę. Trzeba raczej uznać, że mamy do czynienia z zaniechaniem działań ochronnych niż ich realizacją. Obszar Puszczy Białowieskiej, w tym Białowieskiego Parku Narodowego, mimo swojej specyfiki nie podlega wyłączeniu spod wymogów aktualnie obowiązującego prawa w zakresie ochrony przeciwpożarowej lasu. Potwierdzeniem tego są decyzje Komendanta Powiatowego Państwowej Straży Pożarnej w Hajnówce, wydane w dniu 9 czerwca 2014 r. Nadleśnictwom Białowieża i Hajnówka. Zobowiązywały one do oczyszczenia pasa o szerokości 30 m, biegnącego wzdłuż drogi wojewódzkiej Hajnówka–Białowieża z gałęzi, chrustu i nieokrzesanych leżących drzew, w związku z naruszeniem § 39, ust. 1 Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. 2010, nr 109, poz. 719). Termin wykonania decyzji określony pierwotnie na 12 września 2014 roku, po odwołaniu, został przesunięty na 30 czerwca 2015 r. Ze względu na bardzo duże nagromadzenie materiału palnego, nieusuwanego sukcesywnie wcześniej, działania gospodarcze nadleśnictw, będące wykonaniem decyzji Komendanta, doprowadziły do zgromadzenia za oczyszczonym pasem, stosów (wałów) łatwopalnego posuszu, stwarzającego bardzo duże zagrożenie pożarowe (ryc. 11).

In such extraordinary situations obstructed access to certain locations makes it impossible to maintain the appropriate level of public safety there, which should be taken into account in the wider context of analysing the potential threats that are not limited to fire risk, which is the subject of this article.

5. The legal context of fire protection status in the Białowieża Primeval Forest

The legal basis for the fire protection of forest areas arises from the following Acts: the Fire Protection Act (Journal of Laws of 2009, No. 178, item 1380) [10] and the Act on Forests (Journal of Laws of 1991, No. 101, item 444) [11], and the basic secondary legislation contained in the Regulation of the Minister of the Interior and Administration (Journal of Laws of 2010, No. 109, item 719) [12] and the Regulation of the Minister of the Environment (Journal of Laws of 2006, No. 58, item 405) [2]. Pursuant to Art. 1 of the Fire Protection Act, this protection involves the implementation of projects aimed at protecting the environment against fire by preventing its occurrence and propagation, providing resources and funds for firefighting, and conducting rescue operations. Article 3 of this Act obliges all environment users to protect it against fire risk and makes owners and administrators responsible for violating fire regulations according to the procedure and the rules specified in separate regulations. The Act on Forests (Art. 9 (1) (1) includes an obligation to maintain balance in forest ecosystems and improve their natural resistance, especially by engaging in preventive and protective measures to safeguard them against the occurrence and propagation of fires. In the context of the said provisions it must be stated that the statutory obligations are not fully adhered to in the Białowieża Primeval Forest, as the balance in this forest ecosystem, where spruce forest stands are deteriorating, has been disturbed. Forest stands are not naturally resistant and the fire behaviour of forest biomass is conducive to forest fire occurrence and propagation. The actions being performed, if any, are hardly appropriate in terms of fire prevention and their results. It can be concluded that protective actions are being refrained from rather than actually implemented. The area of the Białowieża Primeval Forest, including the Białowieża National Park, in spite of its unique characteristics, is not excluded from the currently applicable laws in terms of forest fire protection. This is confirmed by the decisions of the District Commander of the State Fire Service in Hajnówka issued on 9 June 2014 to the Białowieża and Hajnówka Forest Districts. These decisions obliged the forest districts to clear up a 30 m wide strip of land running along the Hajnówka to Białowieża provincial road from branches, dry twigs, and lying trees with branches, in connection with the violation of § 39 (1) of the Regulation of the Minister of the Interior and Administration of 7 June 2010 on the fire protection of buildings, other structures and land (Journal of Laws of 2010, No. 109, item 719). The deadline for acting on the decision, initially set for 12 September 2014, was postponed to 30 June 2015 following an appeal. Due to a very high concentration of combustible material, which had not been successfully removed before, the activities of the forest districts in implementing the Fire Service Commander's decision led to the appearance, behind the cleared-up strip, of heaps (piles) of flammable dead trees, which posed a very high fire risk (Fig. 11).

Ryc. 11. Pas chrustu powstały przez wyniesienie na odległość 30 metrów gałęzi okrzesanych z martwych drzew wyciętych wzdłuż drogi Hajnówka–Białowieża
Fig. 11. A strip of brushwood caused by a 30 metre relocation of branches, from felled trees, along the Hajnówka to Białowieża road
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Zasadne jest rozważenie bezwzględnego obowiązku zapewnienia właściwego zabezpieczenia przeciwpożarowego cennych pod względem przyrodniczym obszarów (parków narodowych, rezerwatów), uwzględniającego ich odmienną specyfikę od lasów gospodarczych, dla których przede wszystkim tworzone było prawo z zakresu przeciwpożarowego [13].

6. Propozycja działań wspierających ochronę przeciwpożarową Puszczy Białowieskiej

Mimo sklasyfikowania większości obszaru Puszczy Białowieskiej do III kategorii zagrożenia pożarowego lasu, w związku z tym względnie małego zagrożenia pożarami, dynamiczne zmiany powodowane zamieraniem i rozpadem drzewostanów oraz występujące ekstrema pogodowe i prognozowane zwiększenie się natężenia ruchu turystycznego są czynnikami rzutującymi na wzrost potencjalnego zagrożenia pożarowego. Zagrożenie to jak do tej pory nie przedłożyło się na wyraźny wzrost liczby pożarów i powierzchni spalonej. Oznaką tej tendencji jest wzrost liczby pożarów w 2015 roku, ale należy to wiązać w dużej mierze z warunkami pogodowymi. W związku z zaistniałą sytuacją i prognozowanym wzrostem ryzyka pożarowego proponowane jest podjęcie działań mających na celu minimalizację tego ryzyka, przede wszystkim z uwagi na ochronę cennego obszaru przyrodniczego. Obniżenie ryzyka można dokonać poprzez działania edukacyjno-profilaktyczne oraz organizacyjno-techniczne, wychodzące poza obowiązujące standardy prawne w zakresie ochrony przeciwpożarowej lasu.

Działania edukacyjno-profilaktyczne

Zaleca się przygotowanie kampanii informacyjno-ostrzegawczej o występującym zagrożeniu pożarowym na terenie Puszczy Białowieskiej która uświadomi osoby przybywające do niej o możliwych zagrożeniach oraz rozpowszechni zasady prawidłowego korzystania z lasu, niestwarzające zagrożenia wzniecenia ognia. Wbrew pozorom często zapomina się o podstawowej zasadzie, że lepiej zapobiegać, niż gasić oraz o znaczeniu działań edukacyjno-informacyjnych. Ponieważ

It is reasonable to consider the absolute obligation to ensure the appropriate fire protection of areas with important natural assets (national parks, reserves), taking into account the differences between them and the commercial forests, which were the main subject of fire protection regulations [13].

6. Suggested activities to support the fire protection of the Białowieża Primeval Forest

Although most of the area of the Białowieża Primeval Forest is classified under the 3rd forest fire risk category, which signifies a low fire risk, the rapid changes caused by the death and deterioration of forest stands, the instances of extreme weather conditions, and the predicted increased tourism volume, are factors which could contribute to a potentially higher fire risk. To date, this threat has not resulted in a considerable increase in the frequency of fires and the extent of the burnt area. A possible sign is the higher number of fires in 2015, but this was largely associated with weather conditions. In connection with the current situation and the predicted increase in fire risk it is advisable to take measures that minimise this risk, primarily for reasons of protecting this valuable natural area. The fire risk can be reduced by educational and preventive activities, and organisational and technical measures that go beyond the currently applicable legal standards in forest fire protection.

Educational and preventive activities

It is recommended to launch an information and warning campaign about the fire risk present in the area of the Białowieża Primeval Forest to make visitors aware of the potential threat and to disseminate the principles of proper behaviour in forests that causes no danger of fire. Contrary to what one might expect, the basic principle that it is better to prevent than to fight a fire is often forgotten, and the significance of educational and informational activities is downplayed. As the results of these activities are not readily apparent, their use is relatively rare, or they are completely neglected, while

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

działania te nie dają natychmiastowego efektu, są stosowane rzadko lub wręcz pomijane na rzecz wyłącznie przygotowania obszarów leśnych na wypadek pożaru. Skuteczna kampania edukacyjno-informacyjna powinna być profesjonalnie zaplanowana i przeprowadzona długofalowo. Co więcej powinna ona zostać zaadresowana do odpowiednich odbiorców, wśród których powinna znaleźć się lokalna społeczność obcująca z Puszczą na co dzień.

Działania organizacyjno-techniczne

Działania organizacyjno-techniczne mają na celu minimalizację istniejącego zagrożenia pożarowego, a w wypadku powstania pożaru ograniczenie jego skutków. Do postulowanych działań należą:

- ograniczenie narastającego obciążenia ogniowego wskutek gradacji kornika drukarza i wielkości powierzchni objętej rozpadem drzewostanów świerkowych powinno być pierwszoplanowym działaniem;
- prognozowanie lokalnego zagrożenia pożarowego dla obszaru Puszczy Białowieskiej w oparciu o istniejące na jej terenie punkty meteorologiczne oraz wyposażenie Nadleśnictwa Hajnówka w wagosuszarkę do pomiaru wilgotności ściółki;
- zlokalizowanie na terenie Puszczy Białowieskiej drugiej dostrzegalni przeciwpożarowej (proponowana lokalizacja w Leśnictwie Czerlonka), która poprawi efektywność obserwacji obszarów puszczańskich i umożliwi dokładniejsze lokalizowanie pożarów we współpracy z istniejącą dostrzegalnią w Nadleśnictwie Browsk;
- rozważenie możliwości zlokalizowania w rejonie Puszczy Białowieskiej lądowiska operacyjnego, które mogłoby być wykorzystane do prowadzenia akcji gaśniczej z powietrza, szczególnie w terenie trudno dostępnym dla naziemnych sił ratowniczych, w wypadku pożarów średnich i większych. Obecnie najbliższe lądowisko znajduje się w Białymstoku, co z punktu widzenia skuteczności i kosztów prowadzenia ewentualnych działań gaśniczych jest nieracjonalne;
- dążenie do zapewnienia łączności radiowej dla celów ochrony przeciwpożarowej na obszarze całej Puszczy Białowieskiej, gdyż istnieją obszary ograniczonego zasięgu sieci radiowej i komórkowej, w których utrudniona jest koordynacja i prowadzenie działań gaśniczych, np. w rejonie Białowieży i Masiewa;
- w planie ratowniczym powiatu, sporządzonym przez KP PSP i sposobach postępowania na wypadek pożaru, wykonywanych przez nadleśnictwa i Białowieski Park Narodowy powinny być uwzględniane zachodzące zmiany zagrożenia pożarowego i zasady dysponowania odpowiednio większej ilości sił i środków, w zależności od istniejącego zagrożenia i warunków meteorologicznych;
- w celu sprawniejszego prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczych na terenie Puszczy Białowieskiej, szczególnie na terenie trudno dostępnym i znacznie oddalonym od dróg, zasadne byłoby wyposażenie KP PSP w Hajnówce w pojazd do poruszania się w trudnym terenie (typu wszędołaz), pompę dużej wydajności do przepompowywania wody na duże odległości oraz rozkładane zbiorniki wodne o pojemności minimum 8000 dm^3;
- organizowanie co pewien czas ćwiczeń zgrywających służb ratowniczych, służb leśnych, służb parku i innych podmiotów w zakresie gaszenia pożarów lasu w Puszczy Białowieskiej, w terenie przekształconym zachodzącymi zmianami przyrodniczymi;
- biorąc pod uwagę wyniki polsko-białoruskiego projektu partnerskiego „Wspólnie chronimy Puszczę Białowieską", w ramach którego zakupiono samochody ratowniczo-gaśnicze dla obu stron, zasadne jest doprowadzenie do podpisania porozumienia transgranicznego, umożliwiającego niesienie pomocy stronie sąsiedzkiej w wypadku pożaru.

the focus is only on preparing forest areas for fires. An effective long-term educational and informational campaign should be professionally planned and implemented. It should also be targeted at the relevant group of recipients, which should include members of the local community for whom the primeval forest is part of their everyday lives.

Organisational and technical measures

Organisational and technical measures are aimed at minimising the fire risk and, should a fire occur, reducing its impact. The suggested measures include:

- reducing the rising fire load caused by the infestation of the bark beetle, and the size of the area of deteriorated spruce forest stands should be the primary measure;
- predicting the local fire risk for the area of Białowieża Primeval Forest on the basis of the weather stations located within it and providing a moisture analyser for the Hajnówka Forest District to measure the moisture content of forest litter;
- locating within the Białowieża Primeval Forest the second fire lookout tower (suggested location within the Czerlonka Forest District), which will improve the effectiveness of the observation of the primeval forest areas and allow more accurate determination of fire locations in combination with the current fire lookout tower in the Browsk Forest District;
- considering the possibility of locating within the Białowieża Primeval Forest an operational base for airplanes that could be used to conduct airborne firefighting operations, particularly in areas with obstructed access for land rescue services, in medium and large fires. Currently, the nearest landing field is located in Białystok, which is irrational in the context of the effectiveness and costs of conducting potential firefighting operations;
- measures to facilitate radio communications for the purposes of fire protection in the entire area of the Białowieża Primeval Forest, which includes areas of limited radio and mobile network coverage where the coordination and performance of firefighting operations is more difficult (e.g. in the Białowieża and Masiewo regions);
- the district's firefighting plan, prepared by the State Fire Service District Headquarters and the rules of conduct in the case of a fire followed by the forest districts and the Białowieża National Park, should take into account the changes in fire risk and the rules for using a proportionately higher number of resources and measures, depending on the specific threat and weather conditions;
- to ensure more effective rescue and firefighting operations within the Białowieża Primeval Forest, particularly in places with difficult access and located far from roads, it would be reasonable to equip the State Fire Service District Headquarters in Hajnówka with an all-terrain vehicle, a high-performance pump to transport water across long distances and expandable water tanks with a minimum capacity of 8,000 dm^3;
- organising the harmonising of training for rescue services, forest and national-park services and other entities relating to extinguishing fires in the Białowieża Primeval Forest in areas being changed by natural transformations;
- taking into account the results of the Polish-Belarussian partner project *"Wspólnie chronimy Puszczę Białowieską" ("Protecting the Białowieża Primeval Forest Together"),* which included the purchase of rescue and firefighting trucks for both parties, it is reasonable to sign a cross-border agreement providing for mutual assistance in the case of fire.

W świetle zaistniałej sytuacji problem zabezpieczenia przeciwpożarowego Puszczy Białowieskiej wymaga znacznie szerszego spojrzenia na ochronę przeciwpożarową obszarów chronionych (np. parków narodowych, rezerwatów). Obowiązujące w nich zasady są takie same jak w lasach gospodarczych. Nie uwzględnia się specyfiki szczególnie cennych pod względem przyrodniczym obszarów, nie wspominając już o innych ekosystemach niż leśne (np. Biebrzański Park Narodowy). W ocenie ryzyka zagrożenia i organizacji systemu zabezpieczenia przed ogniem unikatowych obszarów powinny być brane pod uwagę również inne czynniki jak np.: przedmiot ochrony, zadania ochronne, ocena negatywnego bądź pozytywnego oddziaływania ognia, planowanie działań ratowniczych minimalizujących straty wskutek akcji itp. Dodatkowo problemem jest brak aktualnej Instrukcji ochrony przeciwpożarowej dla parków narodowych, która znowelizowana w 2012 r. obowiązuje tylko w Lasach Państwowych. W związku z powyższym zasadne wydaje się podjęcie działań zmierzających do opracowania zasad ochrony przeciwpożarowej obszarów szczególnie chronionych, które uwzględniałyby ich specyfikę i pozwalały na prowadzenie działań ochronnych adekwatnych do powstałego zagrożenia trwałości lasu i stanu sanitarnego drzewostanów, jakie obserwujemy obecnie w Puszczy Białowieskiej.

Objaśnienie skrótów

BPN – Białowieski Park Narodowy (*Białowieża National Park*)
BMśw – bór mieszany świeży *(fresh mixed coniferous forest)*
Bs – bór suchy *(dry coniferous forest)*
Bśw – bór świeży *(fresh coniferous forest)*
KZPL – kategoria zagrożenia pożarowego lasu *(forest fire risk kategory)*
RDLP – Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych Białystok (Regional Directorate of State Forests in Białystok)

In the current situation, the problem of the fire protection of the Białowieża Primeval Forest requires a much wider perspective on the fire protection of protected areas (e.g. national parks, reserves). The rules in force within such areas are currently the same as in commercial forests. The specificity of areas with particularly valuable natural assets is not taken into account, not to mention non-forest ecosystems (e.g. the Biebrza National Park) In assessing the fire risk and organising a fire protection system for areas of unique natural assets other factors should also be taken into account, such as the subject of the protection, the protection tasks, the assessment of the negative or positive impacts of fire, the planning of firefighting operations to minimise losses caused by action, etc. Another problem is the lack of an up-to-date Forest Fire protection Manual for national parks, which, as amended in 2012, is applicable only to State Forests. With regard to the above, it seems reasonable that actions aimed at preparing the principles of the fire protection of specially protected areas should be taken. These actions should consider the specific characteristics of these areas and allow protective measures commensurate with the threat of forest sustainability and the state of health of forest stands, which is currently being observed in the Białowieża Primeval Forest.

Abbreviations

BNP – The Białowieża National Park
FMCF – fresh mixed coniferous forest
DCF – dry coniferous forest
FCF – fresh coniferous forest
FFRC – forest fire risk category
RDLP – Regionalna Dyrekcja Lasów Państwowych Białystok (The Regional Directorate of State Forests in Białystok)

Literatura / Literature

[1] Stereńczak K., Szczygieł R., Kwiatkowski M. i inni, *Wpływ ilości martwego drewna w Puszczy Białowieskiej na zagrożenie pożarowe oraz zagrożenie dla ludzi*, IBL 2015.
[2] Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 22 marca 2006 r. w sprawie szczegółowych zasad zabezpieczenia przeciwpożarowego lasów (Dz. U. 2010 Nr 137, poz. 923).
[3] Szczygieł R., Ubysz B., Piwnicki J., Kwiatkowski M., *Kategoryzacja zagrożenia pożarowego lasów Polski,* IBL, 2008.
[4] Instrukcja ochrony przeciwpożarowej lasu, CILP 2012.
[5] Szczygieł R., *Metoda oceny ryzyka powstania pożaru lasu wspomagająca organizację działań ratowniczych*. Prace IBL, Rozprawy i Monografie, 2009, 12.
[6] Łonkiewicz B., *Badania nad palnością runa leśnego i intensywnością pożaru pokrywy gleby*, IBL, 1976.
[7] Fraszewski D., *Ustalenie obciążenia ogniowego drzewostanów I i II klasy wieku w zależności od rodzaju pokrywy dna lasu, rodzaju pożaru oraz realizowanych zabiegów pielęgnacyjnych*, IBL, 1993.
[8] Fraszewski D., Karlikowski T., *Wpływ degradacji drzewostanów w zasięgu oddziaływania przemysłowego na zagrożenie pożarowe lasu*. IBL, 1996.
[9] Szczygieł R., Kwiatkowski M., Kołakowski B., *Opracowanie aplikacji model pożaru lasu*, IBL, 2013.
[10] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o ochronie przeciwpożarowej (Dz. U. 2009 Nr 178, poz. 1380).
[11] Ustawa z dnia 28 września 1991 r. o lasach (Dz. U. 1991, Nr 101, poz. 444).
[12] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków i innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. 2010, nr 109, poz. 719).
[13] Szczygieł R., Piwnicki J., *Ochrona przeciwpożarowa w parkach narodowych – zasady i działania strategiczne. Lasy w parkach narodowych i rezerwatach przyrody*. Kampinoski Park Narodowy, Izabelin 2015, 175-183.

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania:
Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza - typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.13

* * *

dr hab. Ryszard Szczygieł, prof. nadzw. Instytutu Badawczego Leśnictwa, wykształcenie pożarnicze i leśne sprawia, że zainteresowania zawodowe koncentrują się na problematyce ochrony przeciwpożarowej lasu, szczególnie modelowania pożaru lasu, pirologii leśnej jak i gaszenia pożarów. Autor, bądź współautor 120 publikacji naukowych, 90 prac badawczych i kilkunastu wdrożeń rozwiązań technicznych i organizacyjnych w Lasach Państwowych.
prof. Ryszard Szczygieł – professor at the Forest Research Institute. His education in firefighting and forestry directed his professional interests to issues of forest fire protection, particularly forest fire modelling, the study of forest fires, and fire extinguishing. The author and co-author of 120 scientific publications, 90 research projects and more than ten implementations of technical and organisational solutions in State Forests.

mgr inż. Mirosław Kwiatkowski – główny specjalista w Laboratorium Ochrony Przeciwpożarowej Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa, zaangażowany m.in. w prace nad prognozowaniem zagrożenia pożarowego oraz łączności w ochronie przeciwpożarowej lasu.
Mirosław Kwiatkowski, **M.Eng. –** chief specialist at the Laboratory of Forest Fire protection of the Forest Research Institute, involved, i.a., in work on predicting fire risks, and on communication issues in forest fire protection.

mgr inż. Bartłomiej Kołakowski, starszy specjalista w Laboratorium Ochrony Przeciwpożarowej Lasu Instytutu Badawczego Leśnictwa.
Bartłomiej Kołakowski, **M.Eng.** – senior specialist at the Laboratory of Forest Fire protection of the Forest Research Institute.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 161–172

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.14

dr inż. **Dorota Łozowicka**[1]
dr inż. **Magdalena Kaup**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 18.01.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 16.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Koncepcja bezpiecznej ewakuacji ze statków cumujących w rzeczno-morskim porcie Szczecin w przypadku zagrożenia terrorystycznego podczas trwania imprez masowych[3]

The Concept of Safe Evacuation From Sea Faring Vessels at the Port of Szczecin in Circumstances Occasioned by Terrorist Threats during Mass Events

Концепция безопасной эвакуации с судов причаливающих в речном и морском порте Щецин в случае террористической угрозы во время массовых мероприятий

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest opracowanie koncepcji bezpiecznej ewakuacji osób ze statków cumujących przy nabrzeżach pasażerskich rzeczno-morskiego portu Szczecin podczas trwania imprez masowych w przypadku zaistnienia zagrożenia terrorystycznego.
Wprowadzenie: Każdego roku w porcie Szczecin obsługiwanych jest około 100 jednostek pasażerskich, na których przebywają tysiące osób. Ich kumulacja następuje podczas imprez masowych odbywających się w ramach organizowanych przez miasto Szczecin Dni Morza czy Tall Ship Races. Zapewnienie komfortu oraz wysokiego poziomu bezpieczeństwa na jednostkach pasażerskich podczas rejsu oraz postoju w porcie jest działaniem priorytetowym. Nie zawsze możliwe jest całkowite wyeliminowanie zagrożeń, dlatego w artykule skupiono się na opracowaniu koncepcji bezpiecznej ewakuacji osób znajdujących się na zacumowanych jednostkach lub na nabrzeżach pasażerskich.
Metody: Do wyłonienia najlepszych wariantów ewakuacji osób znajdujących się w określonych sektorach na nabrzeżach pasażerskich opracowano algorytm postępowania w oparciu o teorię grafów i algorytmy genetyczne. Obliczenia wykonano w programie MATLAB z wykorzystaniem pakietu Optimization Toolbox. Opracowano oryginalną metodę kodowania rozpatrywanego problemu do postaci, która może być przetwarzana przez algorytm genetyczny (funkcja przystosowania, chromosomy, dobór pokolenia początkowego).
Wyniki: W oparciu o plan nabrzeży i okolic wytypowano obiekty, będące bezpiecznymi miejscami, do których można skierować grupy osób. Uwzględniono pojemność i odpowiednie zaplecze higieniczno-sanitarne tych obiektów. Nabrzeże podzielono na sektory i wyznaczono z każdego z nich trasy ewakuacyjne do bezpiecznych miejsc. Opracowana metoda z wykorzystaniem algorytmów genetycznych umożliwiła wyłonienie najkorzystniejszych wariantów ewakuacji, zatem ustalono ile osób powinno podążać daną trasą tak, aby czas całkowity ewakuacji był jak najkrótszy.
Wnioski: Usytuowanie nabrzeży pasażerskich w porcie Szczecin pozwala na organizowanie na ich terenie imprez masowych. Podczas takich imprez na ich terenie może przebywać jednocześnie kilka tysięcy osób, co stanowi wyzwanie dla służb odpowiedzialnych za bezpieczeństwo uczestników imprez.
Zastosowane metody poszukiwania najlepszych wariantów ewakuacji oraz wyniki obliczeń mogą pozwolić na zwiększenie poziomu bezpieczeństwa poprzez opracowanie wytycznych do przygotowania procedur ewakuacyjnych na organizowane imprezy.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo, terroryzm, ewakuacja, algorytmy genetyczne, port rzeczno-morski, impreza masowa
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is develop the concept of safe evacuation of people from sea faring vessels, berthed at the passenger port of Szczecin during mass events, in circumstances occasioned by terrorist threats.
Introduction: Every year, the port of Szczecin hosts some 100 passenger vessels, which ferry thousands of people. Peak activity is achieved during mass events such as Szczecin Sea Days or Tall Ship Races. The task of providing passenger comfort and high level of security on vessels docked at the port is a priority. It is not always possible to completely eliminate risks, hence, the article concentrates on the development of safe

[1] Akademia Morska w Szczecinie / The Maritime University of Szczecin;
[2] Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie / West Pomeranian University of Technology; magdalena.kaup@zut.edu.pl;
[3] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.14

evacuation procedures for people found on moored vessels or located on the quayside.
Methods: In order to identify the best evacuation option for people found in specific areas of the quayside, a procedure algorithm was developed, based on graph theory and genetic algorithms. Calculations were performed with the use of MATLAB software utilising an Optimization Toolbox package with a Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox (GAtoolbox) module. An original method was developed for encoding problems under investigation into a format, which could be processed by genetic algorithms (adaptive function, chromosomes, selection of the primary generation).
Results: Safe locations were identified from plans of the quayside and surrounding areas, where people could be evacuated, taking into account capacity and need for adequate hygiene as well as sanitary facilities. Quaysides were divided into sectors and from each an evacuation route was identified, which led to a safe location. The developed method, utilising genetic algorithms, facilitates the determination of the most suitable evacuation route permutation and identified the volume of people which should follow a given route so as to minimise the overall evacuation time.
Conclusions: The location of quayside and wharfs, at the port of Szczecin, allows for the running of mass events. Such circumstances lead to the presence of several thousands of people at any given time and presents a challenge to services responsible for ensuring the safety of spectators and people taking part in events. The application of methods used, in the search for optimal evacuation permutations and calculated results, may allow for the enhancement of safety levels by development of appropriate evacuation guidelines for organised events.

Keywords: security, terrorism, evacuation, genetic algorithms, sea-river port
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель данной статьи заключается в разработке концепции безопасной эвакуации людей с судов, пришвартованных у пассажирских причалах речного и морского порта Щецин в случае возникновения террористической угрозы.
Введение: Каждый год в порту Щецин обслуживается около 100 пассажирских судов, на которых находятся тысячи людей. Их скопление наблюдается во время массовых мероприятий, организованных городом Щецин в рамках Дней моря или Tall Ship Races. Обеспечение комфорта и высокого уровня безопасности на пассажирских судах во время круиза и стоянки в порту является приоритетной задачей. Не всегда возможно устранить все угрозы, поэтому в статье особое внимание было уделено разработке концепции безопасной эвакуации людей, находящихся в судах пришвартованных у берега или у пассажирских причалов.
Методы: Для того, чтобы определить наилучшие варианты эвакуации людей, находящихся в конкретных секторах у пассажирских причалов был разработан алгоритм поведения основанный на теории графов и генетических алгоритмах. Расчеты проводились с помощью программы MATLAB и пакета Optimization Toolbox. Был разработан оригинальный метод кодирования рассматриваемой задачи в форму, которая может быть обработана с помощью генетического алгоритма (функция адаптации, хромосомы, подбор начального поколения).
Результаты: На основании плана причалов и их окрестностей были выбраны объекты, которые могут служить в качестве безопасных мест, куда могут быть направлены группы людей, принимая во внимание вместимость и соответствующие санитарно-гигиенические условия этих объектов. Причал разделен на секторы, из каждого из них были установлены пути эвакуации в безопасные места. Разработанный метод с использованием генетических алгоритмов позволил выявить наилучшие варианты эвакуации. Благодаря тому можно было определить, сколько людей должно следовать по маршруту таким образом, чтобы общее время эвакуации было как можно короче.
Выводы: Расположение пассажирских причалов в порту Щецин позволяет организовать не его территории массовые мероприятия. В связи с этим на данной территории может находиться несколько тысяч человек. Это вызов для служб, отвечающих за безопасность участников массовых мероприятий. Используемые в статье методы поиска лучших варианты эвакуации и результаты расчетов могут позволить повысить уровень безопасности путем разработки руководств для подготовки процедур эвакуации для организованных мероприятий.

Ключевые слова: безопасность, терроризм, эвакуация, генетические алгоритмы, речной и морской порт, массовое мероприятие
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wstęp

Żegluga morska i śródlądowa zaliczana jest do rodzajów działalności człowieka, które cechuje wysoki poziom ryzyka. Wszelkie prace i działania prowadzone są na mniej lub bardziej skomplikowanych systemach technicznych w nieprzewidywalnym środowisku wodnym. Podczas żeglugi pod wpływem różnych czynników inicjujących może dojść do niebezpiecznych sytuacji, zagrażających życiu pasażerów i załogi, a także niebezpiecznych dla ładunków i jednostki transportowej.

Ponieważ uzyskanie absolutnej niezawodności systemów technicznych oraz wyeliminowanie wszystkich czynników zagrażających funkcjonowaniu jednostki nie jest możliwe, ważne aby wcześniej określić i zbadać zarówno źródła zdarzeń niepożądanych, jak i warunki ich kształtowania oraz możliwe skutki. W przypadku jednostek pasażerskich utrzymanie standardów bezpieczeństwa jest zadaniem priorytetowym. Dlatego bardzo ważna jest dbałość o doskonały stan techniczny statków, a także staranna praca wszystkich członków załogi, która pozwoli uniknąć sytuacji nadzwyczajnych, które mogłyby spowodować negatywne skutki podczas rejsu oraz postoju w porcie.

Obecnie wyróżnia się trzy formy żeglugi pasażerskiej: wycieczkową, pasażerską liniową i promową [1]. Są to zarówno stałe regularne połączenia pomiędzy tymi samymi portami zgodnie z rozkładem rejsów, jak i tygodniowe czy miesięczne rejsy, w których statki zawijają do kilku lub kilkunastu portów, a pasażerowie mają zapewnione zwiedzanie czy wypoczynek w miastach-portach i okolicy. Statkami pasażerskimi, o różnym tonażu i standardzie wyposażenia, podróżują setki lub tysiące pasażerów w różnych rejonach świata. Zgromadzenie tak dużej liczby osób w jednym miejscu stwarza możliwości do zaistnienia ryzyka nieprzewidzianych zdarzeń.

Do portu w Szczecinie około 80-100 razy w roku zawijają śródlądowe jednostki pasażerskie, a kilka lub kilkanaście razy rocznie także pełnomorskie wycieczkowce. Ograniczenia akwenów portowych i nabrzeży powodują, że nie są to jednak duże jednostki, tak jak w przypadku Portu Gdynia czy Portu Gdańsk. Organizacja w mieście masowych imprez takich jak Dni Morza, czy The Tall Ship Races sprawia, że przy nabrzeżach cumuje wiele jednostek, a na nabrzeżach i w okolicy przebywają tysiące osób. Do chwili obecnej nie miało miejsca zdarzenie, które mogło zagrażać bezpieczeństwu pasażerów statków będących w porcie i innych osób podczas imprez organizowanych na Wałach Chrobrego. Istnieje jednak pewien poziom prawdopodobieństwa że zdarzenie niepożądane wystąpi i będzie wymagało podjęcia natychmiastowych reakcji w wyniku określonych relacji przyczynowo-skutkowych.

2. Charakterystyka i rodzaje zagrożeń statków pasażerskich

Bezpieczeństwo jednostki pływającej to stan, w którym załoga oraz pasażerowie nie są narażeni na utratę zdrowia lub życia, a ładunek i sama jednostka nie są narażone na uszkodzenie lub zniszczenie. Według M. Hanna i innych bezpieczeństwo jest własnością makrosystemu, polegającą na zdolności funkcjonowania w określonych warunkach i w określonym czasie bez zajścia wypadku [2]. Jednak ze względu na istnienie bardzo wielu czynników zagrażających, których nie można całkowicie wyeliminować, zapewnienie takiego stanu eksploatacji przez długi okres, jest praktycznie niemożliwe.

Zgodnie z definicją R. Krystka zagrożeniem nazywamy źródło zdarzenia niepożądanego, które może spowodować szkodę, czyli utratę życia, uraz fizyczny, utratę mienia lub zniszczenia. Źródłami tych zagrożeń są m.in. czynniki fizyczne, chemiczne, organizacyjne, osobowe, których obecność, stan czy właściwości są powodem wystąpienia niepożądanych zdarzeń. Stan, w którym występują zagrożenia, nazywany jest niebezpieczeństwem [3].

Wyróżnia się zagrożenia wewnętrzne i zewnętrzne. Biorąc pod uwagę statek jako element analizy, do zagrożeń zewnętrznych należy zaliczyć wszystkie czynniki znajdujące się poza statkiem, które mają wpływ na jego bezpieczeństwo, a których źródłem są: przyroda, wytwory ludzkiej cywilizacji czy inny człowiek [4], natężenie ruchu, warunki żeglugi w danym akwenie. Pomimo że są to zagrożenia tradycyjnie wpisane w historię doświadczeń człowieka, ciągle brakuje wystarczająco skutecznych środków ograniczających ich negatywne skutki. Natomiast zagrożeniami wewnętrznymi nazywamy zagrożenia, które mogą zaistnieć na danym statku i są wynikiem realizowanych przez załogę czynności i pełnionych przez nią funkcji [4].

Analizy statystyczne oparte na pierwotnych skutkach zaistniałych awarii, wypadków czy katastrof wykazują, że istnieje kilka rodzajów zagrożeń. Spośród nich należy wyróżnić zagrożenia nawigacyjne, spowodowane błędami w nawigowaniu jednostką, bądź awarią urządzeń nawigacyjnych. Ich skutkiem są np. zderzenia, osiadanie statków na mieliźnie czy uszkodzenia lodowe i sztormowe.

Inną grupę stanowią zagrożenia termiczne, powodujące powstanie pożarów na statku i mogące doprowadzić w konsekwencji do zatonięcia jednostki.

Wyróżnić należy również zagrożenia eksploatacyjne, związane z okresem eksploatacji statku, zmęczeniem i zużyciem poszczególnych urządzeń i mechanizmów. Mogą one prowadzić np. do uszkodzeń korozyjnych, pęknięcia kadłuba czy utraty wytrzymałości statku.

Następnym rodzajem zagrożenia jest zagrożenie techniczne, będące skutkiem błędów projektowych i konstrukcyjnych czy też naruszenia reżimów i warunków eksploatacji. Najczęściej zagrożenia te dotyczą systemów napędowych statków czy też konstrukcji kadłuba, jednak dokonujący się postęp techniczny w znacznym stopniu pozwala obniżyć awaryjność statku.

Podczas omawiania zagrożeń należy również wziąć pod uwagę czynnik ludzki, który jest najczęstszą przyczyną wypadków. Badania statystyczne wykazują, że około 80% wszystkich wypadków i awarii było spowodowanych przez błędy ludzkie. Na rycinie 1 przedstawiono procentowy udział poszczególnych błędów ludzkich, które przyczyniają się do zajścia niepożądanego zdarzenia.

Najczęściej błędy te wynikały z niewykonania lub nieprawidłowego wykonania wymaganych procedurą operacji, czy też wykonania czynności niezgodnych z procedurą. Mogą one być spowodowane działaniem jednej lub kilku osób, stąd też mogą mieć charakter indywidualny lub zespołowy. W ogólności praca człowieka na statku ulega silnym wpływom środowiska zewnętrznego. Zależy też od parametrów techniczno-eksploatacyjnych statku. Ludzki błąd odgrywa znaczącą rolę w wystąpieniu wypadku w żegludze.

Zagrożenia są nieodłącznym elementem żeglugi na statkach pasażerskich. Trudno jest je przewidzieć i oceniać ich przebieg. Można jednak, poprzez właściwe i zgodne z procedurą postępowanie, wyeliminować pewne czynniki zagrażające i zapobiec lub zminimalizować ewentualne skutki, które na statkach pasażerskich będą miały zupełnie inny (dużo większy) wymiar i charakter niż na statkach towarowych.

3. Terroryzm jako szczególny rodzaj zagrożenia na statkach pasażerskich

W ostatnich latach zaobserwowano nowe zjawisko przemocy różniące się od piractwa i rozboju morskiego oraz niegenerowane z pobudek kryminalnych. Jest nim terroryzm i przemoc wynikająca z motywów politycznych, religijnych i ideologicznych. Zorganizowane akcje terrorystyczne ukierunkowane są na naruszenie porządku prawnego. Mają na celu wymuszenie na władzach państwowych i społeczeństwach określonych zachowań lub świadczeń. Akty przemocy polegają na zabójstwach, grożeniu śmiercią, mordach politycznych, wzięciu zakładników, uprowadzaniu jednostek transportowych i stosowaniu innych form nacisku wyróżniających się bezwzględnością i okrucieństwem.

Ryc. 1. Rodzaje błędów ludzkich będących przyczyną zdarzenia niepożądanego w żegludze [5]
Fig. 1. Human errors resulting in adverse incidents involving shipping [5]

BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 161–172

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.14

Po zaistniałych wydarzeniach na przestrzeni ostatnich lat, a w szczególności po zamachach terrorystycznych we wrześniu 2001 roku, stwierdzono, że statki również mogą być użyte jako cel lub narządzie terrorystów [6].

Ogólnie terroryzm morski kojarzy się z uprowadzeniem statków. Liczba tych aktów nie jest duża, dlatego nie wywołuje większego lęku i grozy, tak jak w przypadku terroryzmu w transporcie lądowym i lotniczym.

W klasyfikacji stopnia zagrożenia atakiem terrorystycznym w aspekcie rodzaju jednostki, najbardziej narażone na ataki są promy pasażerskie i pasażersko-towarowe oraz wycieczkowce. Wynika to ze względu na dużą efektywność działań terrorystycznych, szczególnie dotyczących możliwości wzięcia zakładników, zyskania rozgłosu, wywierania nacisku społecznego na władze administracyjne i rządowe w celu realizacji żądań terrorystów.

Trzeba zwrócić uwagę na to, że tzw. statki turystyczne mogą zaokrętować ok. 3000 pasażerów i posiadają ok. 1200-1400 członków załogi. Co więcej ich szlaki wycieczkowe są powszechnie znane, a terminy zawinięcia do portów i czas postoju ściśle określone w programach rejsowych, co ułatwia terrorystom przygotowanie akcji.

Statki pasażerskie są atrakcyjne z punktu widzenia sprawców, ponieważ stwarzają one możliwość pojmania i nadzorowania dużej liczby osób, z zamiarem użycia ich w charakterze zakładników lub pozbawienia życia (w przypadku uprowadzenia włoskiego statku pasażerskiego MS Achille Lauro czterech terrorystów sprawowało pełną kontrolę nad ponad tysiącem pasażerów i członków załogi) [7]. Ponadto statek morski, a zwłaszcza wycieczkowiec, dysponuje znaczną autonomicznością uniezależniającą sprawców od zaopatrzenia z zewnątrz i wyposażony jest w środki łączności o zasięgu globalnym.

Analiza dotychczasowych ataków terrorystycznych ukierunkowanych na zawładnięcie statkami pasażerskimi pozwoliła na określenie miejsc (sytuacji), umożliwiających sprawcy przedostanie się na jednostkę pływającą [7]:

1. W porcie:
   – w sposób skryty, z zamiarem rozpoczęcia akcji po wyjściu jednostki w morze;
   – jawnie i legalnie z zakupem biletu, z zamysłem przeprowadzenia akcji po opuszczeniu portu;
   – z użyciem przemocy, z zamiarem opanowania jednostki podczas postoju i późniejszego zmuszenia załogi do jej wyprowadzenia na morze.
2. Podczas postoju na redzie lub kotwicowisku;
3. Podczas przejścia morzem:
   – skryte przeniknięcie na pokład manewrującej jednostki i rozpoczęcie działań ukierunkowanych na jej opanowanie dopiero po przedostaniu się grupy szturmowej na pokład, co umożliwia uzyskanie pełnego zaskoczenia i uniemożliwia załodze wezwanie pomocy;
   – wymuszenie zatrzymania statku ogniem broni maszynowej prowadzonej z szybkich łodzi motorowych, a następnie obsadzenie jednostki przez grupę abordażową (sposób ten nie daje uzyskania pełnego zaskoczenia, zaatakowana jednostka może wezwać pomoc).

Atak podczas ruchu promu jest dość trudny, wymaga bowiem użycia odpowiednich, szybkich jednostek, wyposażonych w broń rakietową lub działka konwencjonalne do wymuszenia zatrzymania jednostki, albo posiadania oddziałów, wyszkolonych do abordażu w warunkach uzyskania pełnego zaskoczenia i uniemożliwienia wezwania pomocy. Również na kotwicy sytuacja jest podobna, chociaż łatwiej jest podpłynąć po cichu na pontonach, tratwach lub szalupach i zaskoczyć wachtę kotwiczną wejściem na pokład za pomocą zarzuconych na burtę lin z hakami lub po łańcuchu kotwicznym. Natomiast port jest miejscem umożliwiającym zastosowanie różnych wariantów ataku. W przypadku promów terroryści z wykupionymi biletami mogą legalnie zaokrętować się i opanować jednostkę na morzu.

Czynnikiem decydującym o ataku terrorystów jest często narodowość i obywatelstwo pasażerów, zwłaszcza państw pozostających w konflikcie z grupą przestępczą lub zaokrętowanie ważnej osobistości, mogącej być kartą przetargową w spełnieniu żądań sprawców ataku. Atak na prom może odbywać się w sposób skryty lub z wykorzystaniem przemocy. W ataku mogą uczestniczyć zorganizowane oddziały terrorystów przygotowanych do tego rodzaju akcji. Zaskoczenie jest często stosowaną formą ataków terrorystycznych. Dzięki skrytemu i cichemu podejściu napastnicy obezwładniają załogę przy pomocy broni białej. Działania terrorystów nie ograniczają się do wspomnianych wyżej metod i środków, coraz częściej bowiem przygotowują oni ataki z użyciem bardziej wyrafinowanych rodzajów broni, takich jak bakteriologiczna, chemiczna, nuklearna oraz torpedowa oraz wykorzystują okręty podwodne.

Istnieje duże prawdopodobieństwo, że terroryści opracowują nowe sposoby wykorzystania statków w działaniach terrorystycznych. W celu rozszerzenia obszaru ataków na rejony odległe od brzegu możliwa jest adaptacja statku-bazy dla szybkich łodzi motorowych, co daje operacjom na pełnym morzu możliwość zabezpieczenia logistycznego. Terroryści posiadają uzbrojone morskie jednostki uderzeniowe w postaci zamaskowanych kutrów i statków rybackich oraz upozorowanych jachtów sportowo-turystycznych lub pułapki z materiałem wybuchowym zdalnie sterowane na wytypowany cel morski.

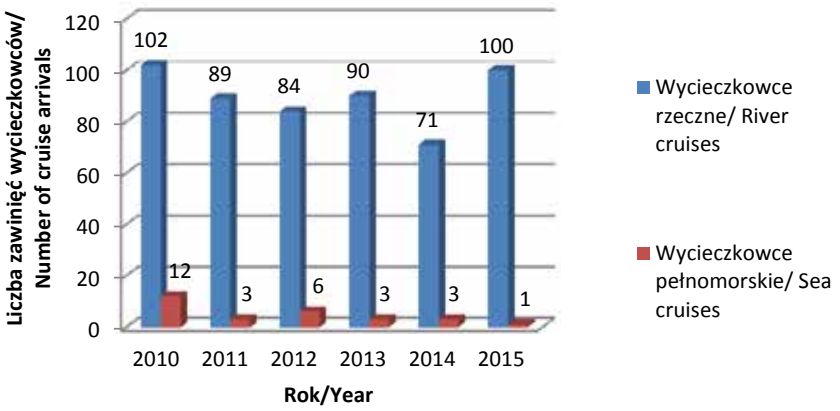
Przy analizowaniu zagrożenia jednostek pływających i obiektów portowych wywołanego działaniami terrorystycznymi należy zwrócić szczególną uwagę na możliwość napadu na statek pasażerski, ponieważ na wszystkie działania przemocy narażona jest ludność cywilna. Należałoby rozważyć ewentualność ataku terrorystycznego na jednostkę pasażerską, która zacumowana jest w porcie w celu uczestnictwa w imprezie masowej. Zagrożenie może być poważniejsze ze względu na obecność innych statków przy kei oraz osób, które są zgromadzone na nabrzeżu. W związku z tym należy przewidzieć sprawną ewakuację ludzi z otoczenia opanowanego przez terrorystów, zakładając, że mają oni możliwość detonacji ładunków wybuchowych o dużej sile rażenia.

4. Analiza zawinięć statków pasażerskich do portu w Szczecinie

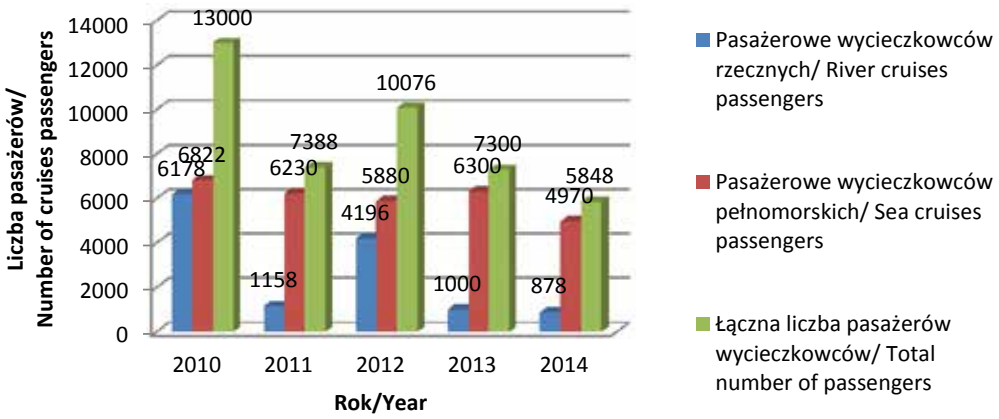
Każdego roku do portu w Szczecinie zawijają rzeczne i pełnomorskie wycieczkowce, które cumują na czterech nabrzeżach przeznaczonych dla statków pasażerskich (Bulwar Chrobrego, Nabrzeże Polskie, Nabrzeże Pasażerskie, Nabrzeże Wieleckie). W roku 2015 zarejestrowano łącznie około 100 zawinięć wycieczkowców rzecznych i 1 zawinięcie wycieczkowca pełnomorskiego. Poniżej na rycinach 2 i 3 przedstawiono zawinięcia statków pasażerskich do portu w Szczecinie, które miały miejsce w ostatnich latach oraz te, które zostały zaplanowane na rok 2015 oraz liczbę pasażerów, którzy przypłynęli na tych jednostkach.

Najwięcej zawinięć wycieczkowców (114) zanotowano w 2010 roku. Wtedy też do portu przypłynęło łącznie 13 000 pasażerów. W latach późniejszych nastąpił spadek liczby pasażerów, co utrzymuje się do dziś, jednak wartość ta przekracza 7000 pasażerów rocznie, poza rokiem 2014, kiedy wartość ta wynosiła jedynie 5848.

Obecnie zawijające wycieczkowce rzeczne na swoim pokładzie mogą przewozić ok. 80 pasażerów. Parametry techniczno-eksploatacyjne tych jednostek uzależnione są od ograniczeń trasy rejsów – możliwości podnośni w Niderfinow oraz ograniczeń kanału Odra–Havela. Po zmodernizowaniu szlaku wodnego Odra–Havela oraz otwarciu nowej podnośni statków w roku 2020 do Szczecina będą mogły zawijać duże wycieczkowce [8].



Ryc. 2. Liczba zawinięć wycieczkowców do portu w Szczecinie w latach 2010-2015 [8]
Fig. 2. The number of cruise arrivals at the port of Szczecin during the years 2010-2015 [8]



Ryc. 3. Liczba pasażerów wycieczkowców przybyłych do portu w Szczecinie w latach 2010-2014 [8]
Fig. 3. The number of cruise passengers at the port of Szczecin during the years 2010-2014 [8]

Najczęściej i najchętniej wybieranym nabrzeżem przez armatorów statków pasażerskich, ze względu na jego atrakcyjność i bliskość do centrum, jest Bulwar Chrobrego. W tabeli 1 przedstawiono podstawowe parametry nabrzeży, na których mogą cumować statki pasażerskie w porcie Szczecin. Więcej informacji na ich temat można znaleźć w publikacjach Kaup, Łozowickiej i Chmielewskiej-Przybysz [9-10].

Trzy nabrzeża pasażerskie są dogodnie skomunikowane z centrum miasta. Jedynie w przypadku Nabrzeża Polskiego, które niestety jest mało reprezentatywne, pasażerowie mają do pokonania dłuższą trasę. Na rycinie 4 przedstawiono układ ulic w rejonie poszczególnych nabrzeży pasażerskich w porcie Szczecin.

Wiele imprez masowych w Szczecinie odbywa się na nabrzeżach pasażerskich i w ich okolicach. Należą do nich m.in. Finał Regat The Tall Ship` Races, Dni Morza, Dni Odry czy Międzynarodowy Festiwal Ogni Sztucznych Piromagic. Podczas trwania imprez masowych zamykanych jest wiele ulic, organizowany jest objazd i komunikacja zastępcza. Ustawa z dnia 20 marca 2009 r. o bezpieczeństwie imprez masowych [12] określa zasady postępowania i warunki bezpieczeństwa podczas trwania imprez masowych. W następnej części artykułu zostaną przeanalizowane możliwości ewakuacji pasażerów ze statków cumujących w porcie Szczecin w przypadku zagrożenia terrorystycznego podczas trwania imprezy masowej.

Tabela 1. Parametry nabrzeży pasażerskich w porcie Szczecin [9-10]
Table 1. Passenger wharf parameter at the Port Szczecin [9-10]

Lp. / No	Nabrzeże/ Wharf	Długość nabrzeża/ Lenght of wharf [m]	Dopuszczalne zanurzenie statków/ Permissible ship draft [m]	Odległość od centrum miasta/ Distatnce from the center of city [m]
1.	Bulwar Chrobrego	270	6,00 - 6,50	500
2.	Pasażerskie	377,5	4,10 - 5,10	600
3.	Polskie	260	9,10 - 9,15	2000
4.	Wieleckie	235	2,10 – 3,20	400

BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 161–172
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.14

Ryc. 4. Układy ulic w sąsiedztwie nabrzeży pasażerskich w Szczecinie [11]
Fig. 4. Street configuration in the passenger wharves neighborhood at Szczecin [11]

5. Identyfikacja punktów gromadzenia pasażerów podczas wystąpienia zagrożenia terrorystycznego na statku cumującym w porcie Szczecin

Podczas trwania Dni Morza (trzy dni) w 2012 roku w Szczecinie przybywało około 75 tys. osób, a do portu przypłynęło ponad 30 jednostek. W roku 2013 podczas Finału Regat The Tall Ship` Races, zgodnie z szacunkami Komendy Wojewódzkiej Policji w Szczecinie, miasto odwiedziło ok. 2,25 mln osób, przy czym w ciągu pierwszego dnia wydarzenia teren imprezy odwiedziło około 1 mln osób (maksymalnie około 400 tys. osób równocześnie). Ponieważ jest wysoce prawdopodobne, że istotna część osób uczestniczyła w więcej niż jednym dniu imprezy, szacuje się, że uczestników Regat było pomiędzy 1 a 1,2 mln. W imprezie tej uczestniczyło ok. 3200 żeglarzy z 36 krajów, którzy przypłynęli do Szczecina na 91 żaglowcach [13]. W roku 2014 w imprezie Piknik nad Odrą wzięło udział około 40 tys. osób, a na Dniach Morza 100 tys. osób. Przypłynęło wówczas ponad 30 jednostek.

Organizacja tego typu wydarzeń wymaga zajęcia rozległych terenów w centrum Szczecina – zazwyczaj od Placu Adama Mickiewicza, poprzez Wały Chrobrego i ul. Jana z Kolna, nabrzeża i bulwary, po Łasztownię na drugim brzegu Odry [14].

Precyzyjne oszacowanie liczby uczestników imprez masowych jest niemożliwe, co wynika przede wszystkim z [13]:

- ich rozproszenia na znacznej powierzchni,
- otwartego charakteru wydarzeń i możliwości wielokrotnego opuszczania i powrotu na teren imprezy.

Na rycinie 5 przedstawione jest miejsce organizacji Dni Morza 2014.

Podczas trwania tych imprez bardzo istotne jest zapewnienie właściwego poziomu bezpieczeństwa dla osób na nich przebywających oraz ich mienia. Odpowiednie przepisy nakładają na organizatorów szereg obowiązków dotyczących zapewnienia bezpieczeństwa. Ważne jest również odpowiednie przystosowanie terenu imprezy, na którym powinny znaleźć się m.in. zaplecze higieniczno-sanitarne, sprzęt ratowniczy i gaśniczy. Powinny także zostać wyznaczone drogi ewakuacyjne oraz drogi umożliwiające dojazd pojazdom służb ratowniczych i Policji w przypadku zagrożenia.

Przypływające na imprezy masowe jednostki pasażerskie, cumujące przy opisanych wcześniej nabrzeżach w porcie Szczecin, mogą być źródłem zagrożenia, w tym zagrożenia terrorystycznego. Dlatego poniżej zostały rozpatrzone możliwości ewakuacji pasażerów ze statków cumujących na nabrzeżu Bulwar Chrobrego w przypadku zagrożenia wynikającego z podłożonego ładunku wybuchowego na jednej z zacumowanych przy nabrzeżach jednostek.

Opierając się na uprzednich doświadczeniach przy zabezpieczeniu strefy wydobycia z Odry 1-tonowej bomby z czasów II wojny światowej, założono zasięg rażenia około 800-1500 m. Wówczas granice obszaru zagrożonego wyznaczały następujące ulice: Św. Ducha, Podgórna, Grodzka, Kuśnierska, Panieńska i Kłodna. Długość nabrzeża, przy którym obecnie cumują jednostki pasażerskie, warunkuje następujące granice obszaru ewakuacji: ulice – Szarotki, Malczewskiego, Matejki, Plac Hołdu Pruskiego, Plac Solidarności, ulice – Farna, Sołtysia i Wyszyńskiego. Na rycinie 5 rozpatrywane nabrzeże podzielono na 4 sektory, do których, w dalszej części artykułu, zostaną dopasowane bezpieczne miejsca dla przebywania w nich pasażerów statków.

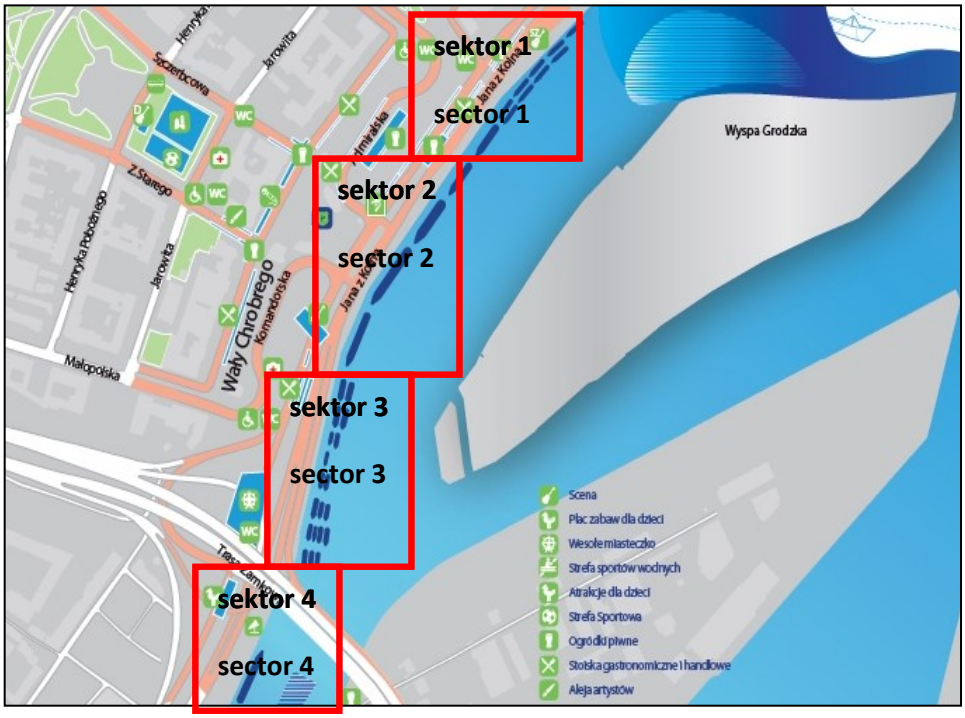
Bezpieczne miejsca, do których mogliby zostać skierowani przez odpowiednie służby pasażerowie statków cumujących przy zagrożonych nabrzeżach, powinny spełniać następujące warunki:

- niewielka odległość od nabrzeży, aby umożliwić w miarę szybkie dotarcie osób,
- lokalizacja poza strefą niebezpieczną (nie mogą znajdować się w obszarze rażenia potencjalnego ładunku wybuchowego),
- pojemność obiektów pozwalająca na zgromadzenie się dużej liczby osób,
- wyposażanie obiektów w wodę, elektryczność i toalety,
- zapewnienie łatwego dostępu dla służb medycznych.

Uwzględniając powyższe, dla rozpatrywanego przypadku wytypowano następujące obiekty:

- Dom Marynarza (BM1),
- Siedzibę Zakładu Ubezpieczeń Społecznych (BM2),
- Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 6 (BM3),
- Urząd Celny (BM4).

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 161–172
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.14



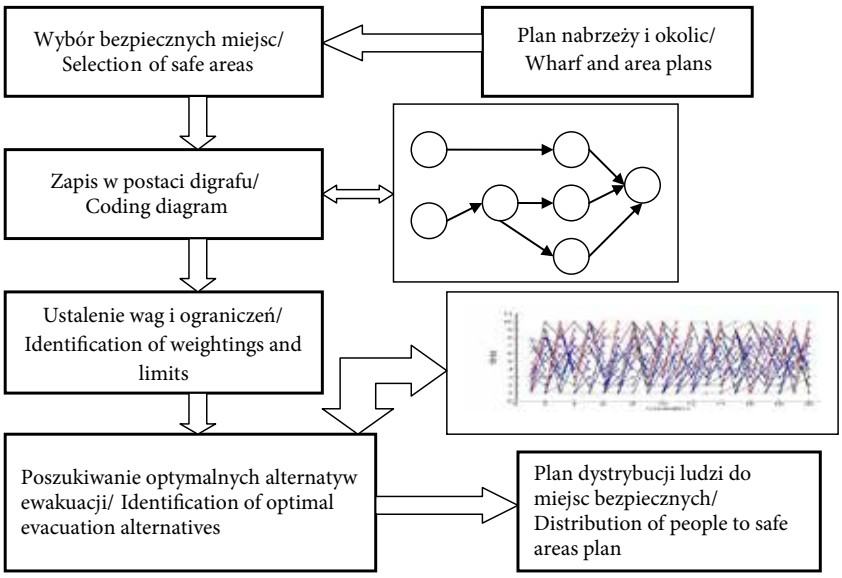
Ryc. 5. Schemat miejsca organizacji Dni Morza 2014 [5]
Fig. 5. Organisation strategy diagram for "Dni Morza 2014" event [5]

6. Analiza wariantów ewakuacji pasażerów statków cumujących w porcie Szczecin w przypadku zagrożenia terrorystycznego podczas imprez masowych

Procesy planowania przebiegu ewakuacji z możliwych rejonów zagrożonych trzęsieniami ziemi, powodziami, huraganami czy w ostatnim czasie aktami przemocy i atakami terrorystycznymi są przedmiotem badań wielu ośrodków naukowych na świecie, takich jak Niemcy (program TraffGo), Japonia (instytuty NM RI, SRA), Wielka Brytania (uniwersytety w Greenwich i Strathclyde), USA (Coast Guard), Kanada (Transport Canada), Australia, Francja, Norwegia i Szwecja. Często w tych badaniach wykorzystywana jest optymalizacja wielokryterialna oraz metody sztucznej inteligencji [15], [16], [17], [18].

W celu analizy wariantów ewakuacji ludzi ze statków cumujących przy szczecińskich nabrzeżach ustalono następujący algorytm postępowania (ryc. 6).

W oparciu o plan nabrzeży i okolic przedstawiony w rozdziale 4 wytypowano obiekty, które stanowić mogą bezpieczne miejsca, do których skierowani zostaną ewakuowani ludzie.



Ryc. 6. Schemat analizy wariantów ewakuacji osób ze statków cumujących w porcie Szczecin
Fig 6. People evacuation variation analysis diagram for ships moored at the port of Szczecin
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.14

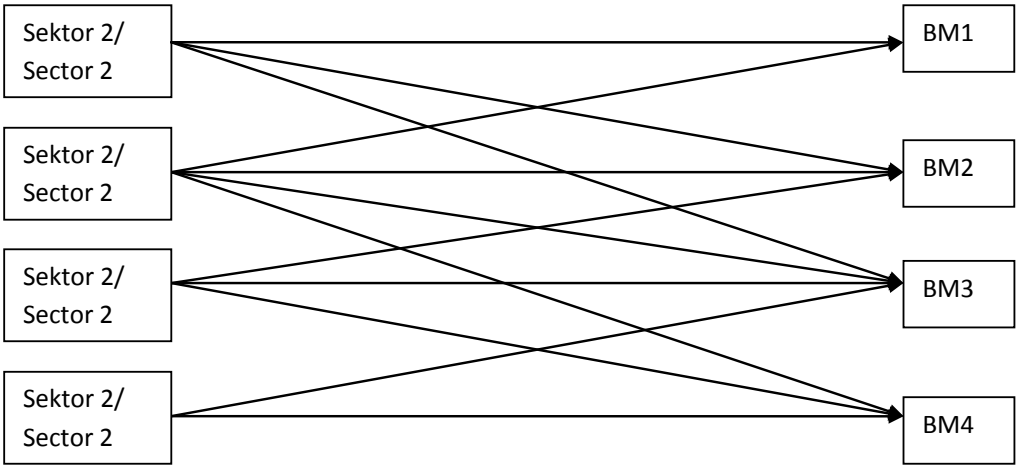
Analiza planu nabrzeży oraz okolic pozwala na przedstawienie go w postaci rysunku grafu skierowanego. Graf skierowany (digraf) składa się z dwóch zbiorów: wierzchołków grafu i krawędzi grafu oraz funkcji ze zbioru wierzchołków w zbiór krawędzi [19]. Wierzchołek grafu skierowanego nazywa się ujściem, jeśli nie jest początkiem żadnej krawędzi, natomiast wierzchołek, który nie jest końcem żadnej krawędzi nazywa się źródłem. W odniesieniu do planów nabrzeży jako ujścia możemy przyjąć wierzchołki reprezentujące bezpieczne miejsca. Źródłami zaś będą wierzchołki reprezentujące poszczególne nabrzeża. Do krawędzi grafu przypisane zostają wagi (liczby, przyporządkowane danej krawędzi) kodujące informacje o czasie przebycia z jednego do drugiego etapu ewakuacji przez daną grupę osób. Na rycinie 7 przedstawiono graf reprezentujący plan ewakuacji analizowanego nabrzeża.

W tabeli 2 wyszczególniono poszczególne trasy ewakuacyjne.

Każde przejście krawędzi w grafie skierowanym wymaga poniesienia pewnych kosztów. Takim kosztem może być dowolna wielkość, w naszym przypadku jest to miara czasu potrzebnego do przejścia przez krawędź. W grafie symbolizującym plan ewakuacji z nabrzeża raczej rzadko zaistnieje taka sytuacja, że wszystkie krawędzie będą kosztowały tyle samo (wtedy najtańsza droga byłaby najkrótszą). Zazwyczaj mamy do czynienia z różnymi stopniami trudności (np. schody), tak więc koszty krawędzi będą się różnić. Na tej podstawie można sporządzić macierz, która posłuży do zapisu czasu przejścia tras ewakuacyjnych.

W większości komputerowych modeli symulujących ewakuację ludzi, czy to ze statków, czy też obiektów lądowych populacji osób bądź też indywidualnym uczestnikom przypisuje się specyficzną prędkość przemieszczania się. Taki sposób postępowania jest skuteczny w przypadku małego zagęszczenia osób na drogach ewakuacji. Problem pojawia się, jeżeli zwiększy się zagęszczenie, które skutkuje zbliżaniem się do siebie osób oraz powstawaniem zatorów. Zmniejsza się wtedy prędkość ruchu. W modelach ewakuacyjnych spowolnienie ludzi może być uwzględnione w różnoraki sposób. Sposoby obliczania prędkości ludzi w modelach ewakuacji zostały szerzej omówione w literaturze [9], [20-21]. W przypadku wyznaczania prędkości przemieszczania się osób podczas ewakuacji z wykorzystaniem programów komputerowych warunkiem koniecznym jest przeprowadzenie ich weryfikacji funkcjonalnej, jakościowej, jak i ilościowej [22].

Na prędkość przemieszczania się osób wpływa szereg parametrów, z których ważną grupę stanowią cechy fizyczne obiektu ewakuacji takie jak: kształty, wymiary i liczba pomieszczeń, liczba pokładów, liczba i wymiary wyjść, schody, przeszkody itp. Na podstawie The SFPE Handbook of Fire Protection Engineeringy [23] można założyć, że wartości prędkości przemieszczania się osób, z uwzględnieniem specyfiki dróg ewakuacyjnych, są stałe i wynoszą: 1,1 (m/s) – schody w dół, 0,88 (m/s) – schody w górę, 1,3 (m/s) – korytarze, 1,3 (m/s) – drzwi.



Ryc. 7. Digraf reprezentujący drogi ewakuacyjne z nabrzeży
Fig. 7. Diagram representing evacuation routes from the wharfs
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 2. Zestawienie tras ewakuacyjnych
Table 2. Summary of evacuation routes

Numer sektora/ Number of sector	Bezpieczne miejsca ewakuacji/ Safety areas of evacuation			
	BM1	**BM2**	**BM3**	**BM4**
sektor 1/ sector 1	Storrady, Kapitańska, Parkowa, Malczewskiego	Storrady, Wawelska, Plantowa	Kapitańska, Starzyńskiego, Plac Solidarności, Mariacka	-
sektor 2/ sector 2	Admiralska, Wawelska, Park Żeromskiego	Wały Chrobrego, Starego, Hotel Park	Komandorska, Małopolska, Plac Solidarności, Mariacka	Bulwar Chrobrego, Bulwar Piastowski, most Długi
sektor 3/ sector 3	-	Małopolska, Starzyńskiego, Park Żeromskiego	pod Trasą Zamkową, Plac Solidarności, Mariacka	Bulwar Piastowski, most Długi
sektor 4/ sector 4	-	-	pod Trasą Zamkową, Plac Solidarności, Mariacka	Bulwar Piastowski, most Długi

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 3. Macierz wag t_{xi} (czas przejścia w minutach)
Table 3. Weightings matrix t_{xi} (relocation time in minutes)

Numer sektora/ Number of sector	Bezpieczne miejsca ewakuacji/ Evacuation safe areas			
	BM1	**BM2**	**BM3**	**BM4**
sektor 1 /sector 1	18	17	18	-
sektor 2/ sector 2	20	15	20	20
sektor 3/ sector 3	-	18	17	17
sektor 4/ sector 4	-	-	15	15

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Macierz wag analizowanego grafu sporządzono w oparciu o rzeczywiste pomiary czasów przejść poszczególnymi trasami ewakuacyjnymi swobodnym marszem. Przedstawiono je w tabeli 3. Założony pomiar obejmował czas przejścia z nabrzeża do miejsca bezpiecznego. Zagadnienie czasu ewakuacji z jednostki pasażerskiej zostało przeanalizowane w odrębnym artykule [24].

Założono, że w sektorach znajdują się grupy osób (N_S) o różnej liczebności, które należy ewakuować. Są to następujące grupy osób: $N_{S1} = 300, N_{S2} = 400, N_{S3} = 200, N_{S4} = 200$.

Poszczególnymi trasami ewakuacyjnymi przedstawionymi w tabeli 2 przemieszczają się następujące strumienie osób, oznaczone jako x_i:

(S1-BM1)-x_1, (S1-BM2)-x_2, (S1-BM3)-x_3, (S2-BM1)-x_4, (S2-BM2)-x_5, (S2-BM3)-x_6, (S2-BM4)-x_7, (S3-BM2)-x_8, (S3-BM3)-x_9, (S3-BM4)-x_{10}, (S4-BM3)-x_{11}, (S4-BM4)-x_{12},

przy czym ogólna liczba ewakuowanych osób (N_C) wynosi 1100.

$$Nc = \sum_{i=1}^{12} x_i \tag{1.1}$$

Pojemności bezpiecznych miejsc są następujące: $N_{BM1} = 400, N_{BM2} = 500, N_{BM3} = 400, N_{BM4} = 500$.

Kolejnym etapem jest ustalenie ograniczeń. Dotyczą one liczebności grup ludzi tworzących strumienie osób wychodzących z danych sektorów x_i, które są ustalane z wykorzystaniem generatora liczb losowych w zadanym przedziale z uwzględnieniem poniższych ograniczeń.

$$\begin{gathered}0\le x_1\le N_{S1} \wedge 0\le x_2\le N_{S1} \wedge 0\le x_3\le N_{S1} \wedge 0\le x_4\le N_{S2} \wedge \\ 0\le x_5\le N_{S2} \wedge 0\le x_6\le N_{S2} \wedge 0\le x_7\le N_{S2} \wedge 0\le x_8\le N_{S3} \wedge 0\le x_9\le \\ N_{S3} \wedge 0\le x_{10}\le N_{S3} \wedge 0\le x_{11}\le N_{S4} \wedge 0\le x_{12}\le N_{S4}\end{gathered} \tag{1.2}$$

$$x_1+x_2+x_3=N_{S1} \tag{1.3}$$

$$x_4+x_5+x_6+x_7=N_{S2} \tag{1.4}$$

$$x_8+x_9+x_{10}=N_{S3} \tag{1.5}$$

$$x_{11}+x_{12}=N_{S4} \tag{1.6}$$

Ponadto suma osób docierających do bezpiecznych miejsc nie może przekroczyć pojemności tych obiektów.

$$x_1+x_4\le N_{BM1} \tag{1.7}$$

$$x_2+x_5+x_8\le N_{BM2} \tag{1.8}$$

$$x_3+x_6+x_9+x_{11}\le N_{BM3} \tag{1.9}$$

$$x_7+x_{10}+x_{12}\le N_{BM4} \tag{1.10}$$

Tworząc funkcję celu, dąży się do uzyskania jak najkrótszych czasów ewakuacji. Dlatego też obliczenia zostaną tak pokierowane, aby podział na poszczególne trasy ewakuacyjne był dokonywany z preferencją tych najkrótszych (w odniesieniu do czasu przebycia) [25].

Funkcja celu będzie miała zatem postać:

$$F(x_1,...,x_{12}) = \sum_{i=1}^{12} x_i \cdot t_{xi} \tag{1.11}$$

Do rozwiązania postawionego problemu proponuje się wykorzystanie metody algorytmów genetycznych. Obliczenia ewolucyjne można zaliczyć do grupy metod sztucznej inteligencji. Metody ewolucyjne, w tym algorytmy genetyczne, pozwalają na uzyskiwanie dobrych wyników (zbliżonych do optymalnych), bez konieczności przeprowadzania czasochłonnych obliczeń. Drugą ważną zaletą tej metody jest odporność na znajdowanie ekstremów lokalnych, co często cechuje ukierunkowane metody optymalizacji. W celu dokonania obliczeń proponuje się skorzystanie z programu MATLAB, który posiada wiele wbudowanych funkcji obliczeniowych, a także zestawy funkcji do wykonywania zadań specjalnych. Jednym z takich zestawów narzędziowych jest pakiet Optimization Toolbox z modułem Genetic Algorithm and Direct Search Toolbox (GAtoolbox). Moduł ten był wykorzystywany m.in. przy obliczaniu czasu ewakuacji ze statków [20], zgodnie z interpretacją metody obliczeniowej zawartej w publikacji Kaup, Łozowickiej i Chmielewskiej-Przybysz [26].

Poniżej przedstawiono kilka przykładowych propozycji wariantów ewakuacji ludzi z poszczególnych sektorów wyłonionych w toku obliczeń metodą algorytmów genetycznych, dla których czas ewakuacji wszystkich grup ludzi nie przekroczyłby 17 minut (najlepsze warianty ewakuacji). Na rycinach 8, 9 i 10 przedstawiono wartości, jakie osiągała funkcja celu w poszczególnych iteracjach algorytmu oraz sposób dystrybucji ludzi danymi trasami ewakuacyjnymi.

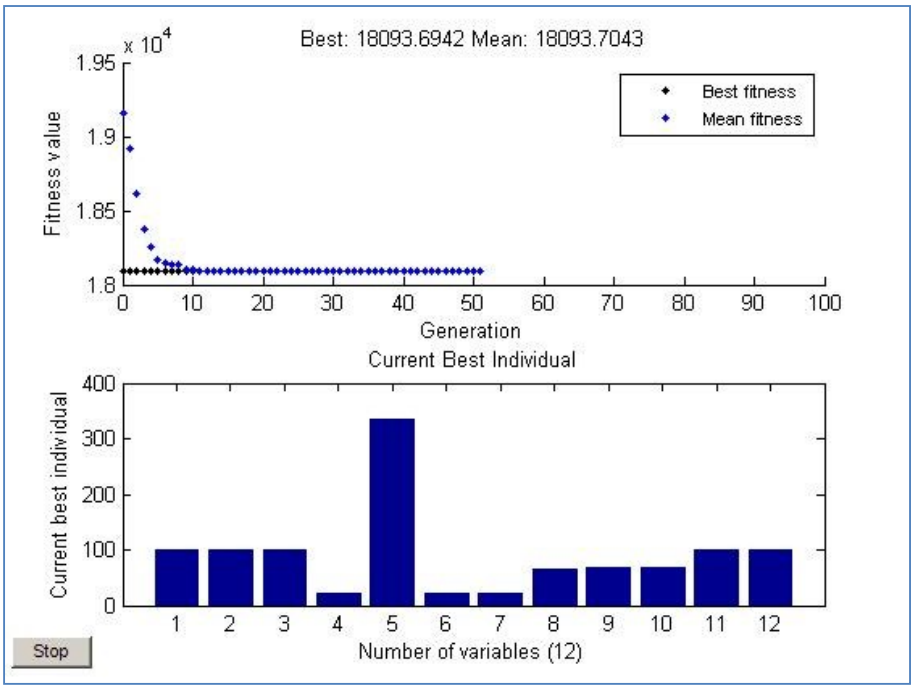
Dla powyższych rezultatów uzyskano następujący podział osób na poszczególne grupy ewakuacyjne:

1. Przypadek pierwszy:
(S1-BM1)-100 osób, (S1-BM2)- 100 osób (S1-BM2)- 100 osób, (S2-BM1)- 22 osoby, (S2-BM2)- 335 osób (S2-BM3)- 22 osoby, (S2-BM4)- 22 osoby, (S3-BM2)- 67 osób (S3-BM3)- 67osób, (S3-BM4)- 67osób, (S4-BM3)- 100 osób, (S4-BM4)- 100 osób.

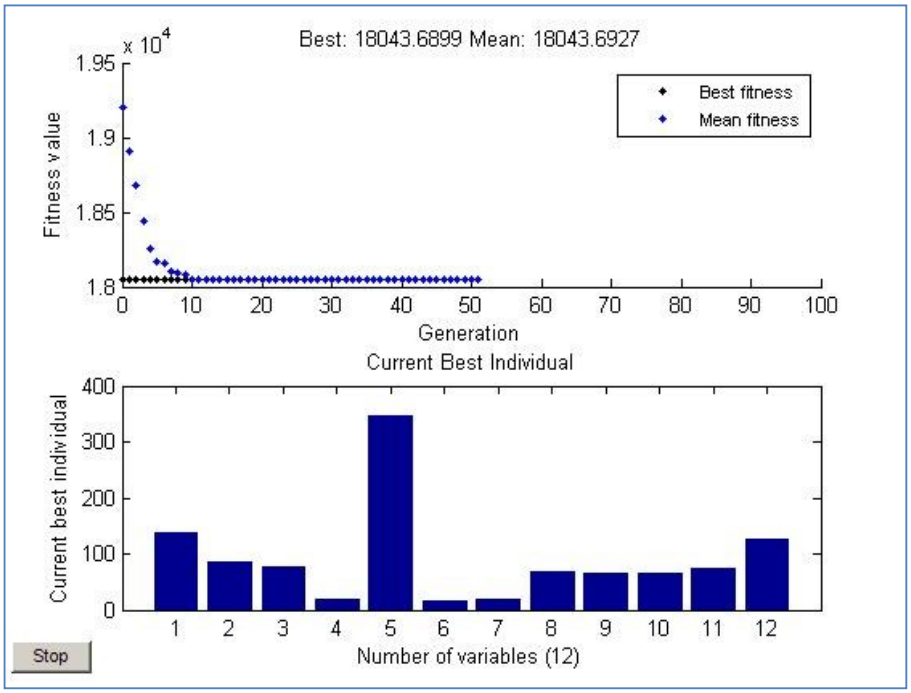
2. Przypadek drugi:
(S1-BM1)-140 osób, (S1-BM2)- 85 osób (S1-BM2)- 75 osób, (S2-BM1)- 18 osób, (S2-BM2)- 347 osób (S2-BM3)- 16 osób, (S2-BM4)- 18 osób, (S3-BM2)- 67 osób (S3-BM3)- 66 osób, (S3-BM4)- 65 osób, (S4-BM3)- 73 osoby, (S4-BM4)- 127 osób.

3. Przypadek trzeci:
(S1-BM1)-99 osób, (S1-BM2)- 100 osób (S1-BM2)- 101 osób, (S2-BM1)- 18 osób, (S2-BM2)- 355 osób (S2-BM3)- 16 osób, (S2-BM4)- 12 osób, (S3-BM2)- 45 osób (S3-BM3)- 47 osób, (S3-BM4)- 108 osób, (S4-BM3)- 86 osób, (S4-BM4)- 113 osób.

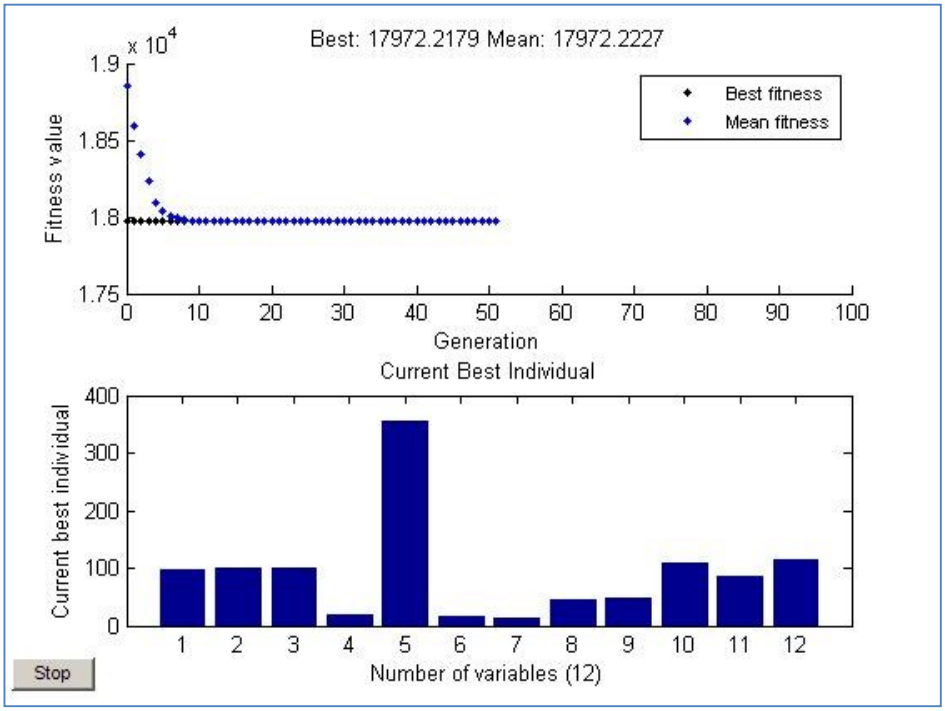
BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 161–172
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.14



Ryc. 8. Graficzna prezentacja wyników obliczeń metodą algorytmów genetycznych dla czasu ewakuacji 16,5 min
Fig. 8. Graphical representation of calculation results using genetic algorithms for evacuation time of 16,5 minutes
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 9. Graficzna prezentacja wyników obliczeń metodą algorytmów genetycznych dla czasu ewakuacji 16,4 min
Fig. 9. Graphical representation of calculation results using genetic algorithms for evacuation time of 16,4 minutes
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 10. Graficzna prezentacja wyników obliczeń metodą algorytmów genetycznych dla czasu ewakuacji 16,3 min
Fig. 10. Graphical representation of calculations results using genetic algorithms for evacuation time of 16,3 minutes
Źrodło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Uzyskane wyniki pokazują, iż przyjęta metoda obliczeń pozwala na właściwe określenie czasu i sposobu ewakuacji pasażerów podczas trwania imprezy masowej. Wykorzystana metoda algorytmów genetycznych umożliwia osiągnięcie zadowalających wyników obliczeń w rozsądnym czasie. Zastosowanie algorytmu pozwala na znalezienie rozwiązania bliskiego optymalnemu już po około 10 iteracjach. Obliczenia zostały przeprowadzone dla stosunkowo nieskomplikowanych rozkładów tras ewakuacyjnych i dużej liczby osób. Uzyskane wyniki wskazują jednak, że opracowana metoda będzie miarodajna w przypadku planowania i organizacji ewakuacji do miejsc zbiórek dla dowolnej liczby osób przebywającej na nabrzeżach pasażerskich w rzeczno-morskim porcie Szczecin.

7. Wnioski

Lokalizacja i specyfika nabrzeży pasażerskich w rzeczno-morskim porcie Szczecin sprawia, że niejednokrotnie na ich terenie organizowane są imprezy masowe, na które przybywa tysiące osób, zarówno od strony wody, jak i lądu. W obecnej sytuacji geopolitycznej organizacja tego typu imprez może stanowić duże wyzwanie w aspekcie zapewnienia bezpieczeństwa jej uczestnikom. Pomimo iż dotychczas nie stwierdzono w porcie Szczecin zagrożenia jednostek pływających i obiektów portowych wywołanego działaniami terrorystycznymi, to jednak nie można całkowicie wyeliminować zaistnienia tego typu zdarzenia.

Ze względu na zgromadzenie dużej liczby osób w jednym miejscu, ważne, aby służby odpowiedzialne za bezpieczeństwo potrafiły właściwie przeprowadzić akcję ewakuacyjną, zarówno z nabrzeży, jak i cumujących przy nich jednostkach.

Podane w artykule propozycje mogą ułatwić organizatorom planowanie ewentualnych tras ewakuacyjnych oraz właściwą dystrybucję osób podczas ewakuacji, w celu uniknięcia zbędnych zatorów oraz przeludnienia poszczególnych punktów zbornych.

W kolejnych iteracjach zgodnie z przyjętym algorytmem uzyskiwano coraz krótsze trasy ewakuacji. Jednakże głównym zadaniem optymalizacji było ustalenie odpowiedniej dystrybucji osób do bezpiecznych miejsc, biorąc pod uwagę ich pojemność i odpowiednie zaplecze higieniczno-sanitarne.

Rozważono nieskomplikowany do organizacji przypadek ewakuacji. Przyjęty zakres badań objął jedynie relatywnie prosty scenariusz ewakuacji. W pracach o charakterze praktycznym należałoby rozpatrzyć zdecydowanie większą liczbę bardziej złożonych scenariuszy. Analiza wówczas powinna być przeprowadzona w kontekście ograniczeń i obszaru stosowalności zalecanych metod.

Na statkach zacumowanych do nabrzeży podczas obchodów Dni Morza przebywa znacznie mniej ludzi niż chociażby w przypadku imprezy typu Tall Ship Races. Wyniki symulacji zdają się jednakże wskazywać, że metoda ta będzie również skuteczna w planowaniu ewakuacji dla znacznie większej liczby osób.

Literatura

[1] Kujawa J. (red), *Organizacja i technika transportu morskiego*, Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego, Gdańsk 2005.
[2] Hann M., Semenow I., Rosochacki W., *Wybrane zagadnienia bezpieczeństwa i niezawodności obiektów górnictwa morskiego*, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 1998.
[3] Krystek R., *Zintegrowany system bezpieczeństwa transportu. Tom II. Uwarunkowania rozwoju integracji systemów bezpieczeństwa transportu,* Wydawnictwa Komunikacji i Łączności Sp. z o. o., Gdańsk 2009.
[4] Hołyst B. (red), *Człowiek w sytuacji trudnej*, Polskie Towarzystwo Higieny Psychicznej, Warszawa 1991.
[5] Oficjalna strona internetowa wydarzenia Dni Morza, http://dnimorza.szczecin.eu, [dostęp: 30.10.2015].
[6] Ficoń K., *Logistyka morska, Statki, Porty, Spedycja*, Bel Studio Sp. z o. o., Warszawa 2010.
[7] Gawliczek P., Pawłowski J., *Zagrożenia asymetryczne*, Akademia Obrony Narodowej, Warszawa 2003.
[8] Oficjalna strona internetowa portu Szczecin-Świnoujście, http://www.port.szczecin.pl, [dostęp: 30.10.2015].

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.14

[9] Kaup M., Łozowicka D., Chmielewska-Przybysz M., *Turystyka wodna jako sznasa rozwoju miast nadwodnych na przykładzie Szczecina*, „Autobusy" nr 3/2013.
[10] Kaup M., Chmielewska-Przybysz M., *Analiza funkcjonownia śródlądowych jesdnostek pasażerskich obsugiwanych w porcie Szczecin*, „Logistyka" 2011, 6.
[11] http://mapa.targeo.pl, [dostęp: 30.10.2015].
[12] Ustawa z dnia 20 marca 2009 r. o bezpieczeństwie imprez masowych (Dz.U. 2009 Nr 62, poz. 504).
[13] Raport: Wpływ organizacji finału regat The Tall Ships` Races 2013 na gospodarkę miasta Szczecin. Zarzecki, Lasota i Wspólnicy Sp. z o.o., Szczecin, Listopad 2013.
[14] Oficjalna strona internetowa Międzynarodowych targów Szczecińskich, http://www.mts.pl, [dostęp: 30.10.2015].
[15] Izquierdo J., Montalvo I., Pérez R., Fuertes V. S., *Forecasting pedestrian evacuation times by using swarm intelligence,* "Physica A" 2009, 388, 1213-1220.
[16] Johansson A., Helbing D., *Pedestrian flow with genetic algorithm based on Boolean grids,* [in:*] Pedestrian and Evacuation Dynamics,* M. Schreckenberg, S. Som Deo (eds.) Springer, 2005, 267-272,
[17] Nishinari K., Sugawara K., Kazama T., Schadschneider A., Chowdhury D., *Modelling of self-driven particles: foraging ants and pedestrians*, "Physica A" Vol. 372, 2006, pp.132-141.
[18] Saadatseresht M., Mansourian A., Taleai M., *Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach,* "European Journal of Operational Research" 2009, 198, 305-314.
[19] Ross K.A, *Matematyka dyskretna*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2005.
[20] Łozowicka D., *Metody szacowania prędkości przemieszczania się ludzi w modelach ewakuacji ze szczególnym uwzględnieniem specyfiki ewakuacji ze statków pasażerskich,* „Logistyka –nauka" 2010, 6, 2031-2040.
[21] Łozowicka D., *Symulacyjne badania ewakuacji w budownictwie lądowym oraz możliwości ich zastosowania dla statków,* „Technika Transportu Szynowego" 2012, 9.
[22] Łozowicka D., Czyż S., *Interpretacja wymagań analizy ewakuacji statków pasażerskich*, [w:] *Proceedings of the XII International Scientific and Technical Conference on Marine Traffic Engineering*, Świnoujście –Szczecin 2007, 469-478
[23] SFPE Fire Protection Engineering Handbook, 2nd edition, NFPA 1995.
[24] Kaup M., Łozowicka D., *Analysis of the possibility of safe evacuation of passengers from a ship moored in the river- sea port Szczecin*, Polish Maritime Research [w druku].
[25] Chen Y. L., Chin Y. H., *The quickest path problem*, "Computers and Operations Research" 1990, 17, 153-161.
[26] Łozowicka D., Kaup M., Chmielewska-Przybysz M., *Interpretacja przepisów dotyczących analizy ewakuacji metodą uproszczoną zawartą w Msc/circ. 1238 IMO,* „Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe" 2013, 3, 1203-1213.

* * *

dr inż. Dorota Łozowicka – absolwentka Wydziału Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej, adiunkt w Zakładzie Budowy i Stateczności Statku na Wydziale Nawigacyjnym Akademii Morskiej w Szczecinie. Zainteresowania naukowe dotyczą bezpieczeństwa i eksploatacji statków śródlądowych i morskich.

dr inż. Magdalena Kaup – absolwentka Wydziału Techniki Morskiej Politechniki Szczecińskiej, adiunkt w Katedrze Logistyki i Ekonomiki Transportu Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie. Zainteresowania naukowe dotyczą bezpieczeństwa i eksploatacji statków śródlądowych i morskich.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 173–184

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.15

dr inż. **Jacek Roguski**[1]
mjr dr inż. **Mariusz Chmielewski**[2]
dr inż. **Roman Wantoch-Rekowski**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 08.05.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 09.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Zastosowanie symulacji wirtualnej do szkolenia w zakresie bezpieczeństwa użytkowania obiektu na przykładzie terminalu lotniczego[3]

The Application of Virtual Simulation in Training within the Scope of Safe Use of Facilities Based on The Example of an Airport Terminal

Применение виртуальной симуляции для обучения безопасности использования объекта на примере терминала аэропорта

ABSTRAKT

Cel: W artykule przedstawiono zastosowanie symulacji wirtualnej do szkolenia w zakresie procedur postępowania wybranych służb w kontekście szeroko pojętego bezpieczeństwa, związanego z eksploatowanym obiektem na przykładzie terminalu lotniczego w Modlinie.
Wprowadzenie: Jednym ze sposobów utrzymania wysokiej sprawności i efektywności działania służb jest ćwiczenie procedur postępowania w warunkach rzeczywistych. Prowadzić to może do kolizji interesów z użytkownikami obiektu, którzy mogą potraktować prowadzone działania szkoleniowo-doskonalące jako realne działania ratownicze, doprowadzając do sytuacji kryzysowych, trudnych do przewidzenia i opanowania. Alternatywnym rozwiązaniem jest wykonywanie ćwiczeń w ramach wirtualnej rzeczywistości, które ograniczają do minimum ryzyko zniszczenia lub uszkodzenia wykorzystywanego przez zespoły ćwiczące sprzętu oraz zagrożeń dla życia i mienia użytkowników terminalu lotniczego.
Metodologia: W artykule przedstawiono możliwość zastosowania symulatora wirtualnego do ćwiczeń związanych z działaniami ratowniczo-gaśniczymi (RG) oraz działaniami innych służb na przykładzie pirotechników. Ćwiczenia zostały ukierunkowane na specyfikę działań w obiekcie terminalu lotniczego na przykładzie lotniska w Modlinie. Rozważania oparto na wynikach prac rozwojowych realizowanych w projekcie pt. „Wirtualny system doskonalenia taktyki ochrony granicy państwowej oraz kontroli ruchu granicznego" finansowanym ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (nr umowy DOBR/0023/R/ID3/2013/03).
Podsumowanie: Lotniskowa Służba Ratowniczo-Gaśnicza (LSRG) jest specjalistyczną służbą Przedsiębiorstwa Państwowe Porty Lotnicze (PPL) realizującą szereg działań z zakresu ochrony przeciwpożarowej. Zadaniem LSRG jest między innymi udział w akcjach RG w rejonie operacyjnym lotniska, usuwanie i neutralizacja rozlewisk substancji ropopochodnych, zabezpieczenie tankowania samolotów z pasażerami na pokładzie, a także realizacja procedur wynikających z wykonywania operacji lotniczych przy ograniczonej widzialności. Jednocześnie ratownicy i specjaliści LSRG kontrolują obiekty lotniskowe oraz prowadzą działania profilaktyczne z zakresu bezpieczeństwa i ochrony przeciwpożarowej. Aby powyższe zadania były realizowane bardziej efektywnie, można prowadzić ich trening z wykorzystaniem symulatora wirtualnego. Służbą, która prowadzi działania w terminalu lotniczym są także pirotechnicy. Ich działania są szczególne ze względu na konieczność ciągłej kontroli dużej liczby bagaży oraz działanie w warunkach dużego zagęszczenia osób.
Wnioski: Stosowanie symulatorów wirtualnych do wspomagania szkolenia pozwala osiągnąć następujące korzyści: zmniejszenie kosztów szkoleń; ćwiczenie sytuacji, które są bardzo trudne do odtworzenia w rzeczywistości; ćwiczenie sytuacji, które nie są możliwe do odtworzenia w rzeczywistości ze względu na duże koszty lub duże zagrożenia dla ćwiczących; możliwość ćwiczenia efektywności procedur oraz weryfikacja nowych procedur oraz możliwość ćwiczenia z użyciem urządzeń, których jeszcze nie wyprodukowano.

Słowa kluczowe: symulacja, środowisko wirtualne, szkolenie, pirotechnika
Typ artykułu: doniesienie wstępne

ABSTRACT

Objective: This article shows the way of using virtual simulation in the process of training safety procedures of selected services associated with the used facility based on the example of an airport terminal in Modlin.

[1] Centrum Naukowo Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland; jroguski@cnbop.pl;
[2] Wojskowa Akademia Techniczna / Military University of Technology in Warsaw;
[3] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artkułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.15

Introduction: One way to maintain high efficiency and effectiveness of services is to exercise conduct procedures in real conditions. This can lead to conflicts of interest with the users of the facility, who can treat these training and improvement activities as viable rescue operations, which would lead to crisis situations that are difficult to predict and control. An alternative solution is to perform exercises in virtual reality, which minimizes the risk of damage or destruction of the used equipment.
Methodology: The article presents the possibility to use a virtual simulator for exercises related to rescue and firefighting training (RG) and activities of other services based on the example of pyrotechnics. Exercises are targeted to the specific nature of activities at the airport terminal building based on the example of the airport in Modlin. Discussion was carried out on the basis of the results of the project "Virtual system of enhancing the tactics of national border protection and border traffic control" financed by the National Research and Development Centre (contract no. DOBR/0023/R/ID3/2013/03).
Summary: Aerodrome Rescue-Extinguishing Service (LSRG) is a specialized service of the state enterprise "Polish Airports" (PPL) which carries out a number of activities in the field of fire protection. The task of LSRG, among others, is to participate in RG actions in the operational area of an airport, remove and neutralize oil spills, secure refueling of airplanes with passengers on board as well as to implement procedures resulting from air operations at reduced visibility. At the same time, LSRG rescuers and specialists control airport facilities and carry out preventive measures in the field of security and fire protection. While analyzing these tasks, one can performing training courses using a virtual simulator which results in greater efficiency of operation. An airport terminal is also a special place from the point of view of operations performed by pyrotechnics. A special element is the necessity for continuous monitoring of large amounts of luggage and working under conditions where there is a large number of people over one area.
Conclusions: Using virtual simulators to support training, one can achieve the following benefits: reducing the cost of training, performing exercises in situations which are very difficult to recreate in reality; performing exercises in situations which are impossible to be recreated in reality due to high costs or high risk for the trainees; opportunity to practice the efficiency of procedures and to verify new procedures, and the opportunity to practice using equipment which has not yet been produced.

Keywords: simulation, virtual reality, training, pyrotechnics
Type of article: short scientific report

АННОТАЦИЯ

Цель: В статье приведен пример использования виртуальной симуляции для обучения процедурам поведения некоторых служб в контексте широко понимаемой безопасности, связанной с эксплуатируемым объектом на примере терминала аэропорта в Модлине.
Введение: Одним из способов поддержания высокой эффективности и результативности работы служб является проведение тренировок в реальных условиях. Это может привести к конфликту интересов с пользователями объекта, которые могут воспринять проводимые занятия по повышению квалификации как реальные спасательные действия, что может привести к кризисным ситуациям, которые трудно спрогнозировать и контролировать. Альтернативным решением является выполнение тренировок в виртуальной реальности, которая сводит к минимуму риск повреждения или уничтожения используемого группами курсантов оборудования, а также появления угроз жизни и имуществу пользователей терминала аэропорта.
Методология: В статье представлена возможность использования виртуального тренажера для упражнений, связанных со спасательно-гасящими действиями (RG) и другими действиями разных служб на примере пиротехников. Упражнения были ориентированы на конкретный характер деятельности в здании терминала на примере аэропорта Модлин. Идеи были основаны на результатах опытно-конструкторских работ, осуществляемых в рамках проекта под названием «Виртуальная система совершенствования системы охраны государственной границы и пограничного контроля», финансируемого Национальным центром науки и развития (контракт № DOBR/0023/R/ID3/2013/03).
Заключение: Пожарная служба аэропорта (LSRG), являющаяся специализированной службой Государственного предприятия Польские аэропорты (PPL), осуществляет ряд мероприятий в области противопожарной защиты. Задачей LSRG, помимо прочего, является участие в спасательно-гасящих действиях в области эксплуатации аэропорта, удаление и нейтрализация разливов нефтепроизводных веществ, обеспечение безопасности дозаправки самолета с пассажирами на борту, а также осуществление процедур, связанных с осуществлением воздушных операций в условиях ограниченной видимости. В то же время, спасатели и специалисты LSRG контролируют объекты аэропорта и проводят профилактические мероприятия в области обеспечения общей и пожарной безопасности. Анализируя вышеуказанные задачи, использование виртуального стимулятора позволяет повысить эффективность проводимых учений. Терминал аэропорта – это также особое место, с точки зрения деятельности пиротехников. Особым элементом является необходимость постоянного мониторинга большого количества багажа, и работа в условиях определенной площади с большим скоплением людей.
Выводы: Использование виртуальных тренажеров для поддержки обучения позволяет достичь следующие преимущества: сокращение расходов обучения, тренировка ситуаций, которые очень сложны для воспроизведения в реальных условиях, прорабатывание ситуаций невозможных для воспроизведения в реальности из-за больших расходов или большой угрозы для курсантов, возможность тренировок эффективности процедур и верификации новых процедур, а также возможность тренировки с инструментами, которые еще не были произведены.

Ключевые слова: симуляция, виртуальная среда, обучение, пиротехника
Вид статьи: предварительный отчет

1. Wstęp

Użytkowanie obiektów takich jak terminale lotnicze wymaga współpracy różnych grup zawodowych. Od ich sprawności działania i wyszkolenia zależy bezpieczeństwo osób przebywających w danych obiektach, zwłaszcza w przypadku sytuacji kryzysowej, takiej jak pożar czy atak terrorystyczny. Jednym ze sposobów utrzymania wysokiej efektywności działań tych grup są szkolenia wykorzystujące elementy wirtualnej rzeczywistości. Dzięki zaawansowanym rozwiązaniom technicznym w odwzorowywaniu warunków rzeczywistych wirtualne scenariusze szkoleniowe mogą być bardzo zbliżone do realnych. Dostępne na rynku symulatory wirtualne (silniki symulacyjne i silniki graficzne) umożliwiają:

- budowę własnych scenariuszy,
- symulację przebiegu scenariusza,
- budowę i modelowanie własnych obiektów z odwzorowaniem ich właściwości taktyczno-technicznych, oraz obiektów, które nie istnieją w rzeczywistości,

- budowę własnych map z odwzorowaniem rzeczywistych obszarów nawet do kilkudziesięciu kilometrów kwadratowych,
- programowanie warunków atmosferycznych oraz zachowania symulowanego środowiska naturalnego,
- ingerencję instruktora w trakcie symulacji, dzięki czemu zwiększa się realizm prowadzonego ćwiczenia,
- programowanie zachowania obiektów (ludzi, pojazdów),
- rejestrowanie i odtwarzanie przebiegu symulacji (ang. AAR - *after action review*),
- łączenie z innymi symulatorami,
- budowę zobrazowania wielkoformatowego.

Zastosowanie symulatora wirtualnego pozwala m.in. przygotować i przeprowadzić ćwiczenia związane z wybranymi zagadnieniami dotyczącymi działań ratowniczo-gaśniczych oraz procedur postępowania z podejrzanym bagażem pozostawionym na terenie terminalu lotniczego.

Na etapie przygotowania takich ćwiczeń należy:

- opracować mapę wirtualną na podstawie rzeczywistych danych GIS,
- opracować modele wirtualne obiektów, a w szczególności wiernie odwzorować model terminalu lotniczego,
- opracować modele funkcjonariuszy poszczególnych służb z uwzględnieniem ich umundurowania, wyposażenia i uzbrojenia,
- opracować modele (logikę działania) obiektów symulacyjnych w tym: personelu lotniska, społeczeństwa, ewentualnych zamachowców, funkcjonariuszy Straży Granicznej,
- przygotować scenariusze szkoleniowe odpowiadające określonym sytuacjom.

Służbą odpowiedzialną za bezpieczeństwo terminali lotniczych jest m.in. Lotniskowa Służba Ratowniczo-Gaśnicza (LSRG) Przedsiębiorstwa Państwowe Porty Lotnicze (PPL). Zadaniem LSRG jest między innymi udział w akcjach RG w rejonie operacyjnym lotniska, usuwanie i neutralizacja rozlewisk substancji ropopochodnych, zabezpieczenie tankowania samolotów z pasażerami na pokładzie, a także realizacja procedur wynikających z wykonywania operacji lotniczych przy ograniczonej widzialności. Jednocześnie ratownicy i specjaliści LSRG kontrolują obiekty lotniskowe oraz prowadzą działania profilaktyczne z zakresu bezpieczeństwa i ochrony przeciwpożarowej. Zadania, które mają być przez nią wykonywane są określone i szczegółowo opisane w planie działania w sytuacji zagrożenia (PDSZ) opracowywanym dla każdego z obiektów PPL. Dane zawarte w tym planie stanowią główne źródło informacji wykorzystywanych w sytuacjach kryzysowych. Dokument ten każdorazowo zawiera: operacyjny plan ratownictwa lotniskowego, procedury działania w sytuacji: pożaru obiektu lotniskowego, sabotażu z uwzględnieniem zagrożenia bombowego, z użyciem materiałów niebezpiecznych, katastrofy naturalnej lub awarii technicznej, zagrożenia epidemiologicznego. Ponadto określa on Centrum Operacyjne, Centrum Koordynacji Antykryzysowej, Ruchome Centrum Dowodzenia.

Zgodnie z procedurami PDSZ do zadań LSRG należą: interwencyjne zabezpieczenie ratowniczo-gaśnicze operacji lotniczych, organizowanie i kierowanie działaniem ratowniczym w przypadku wystąpienia wypadku lub incydentu związanego z cywilnym statkiem powietrznym, organizowanie i kierowanie działaniem ratowniczym w przypadku powstania pożaru lub katastrofy budowlanej obiektów i urządzeń lotniskowych danego portu. LSRG bierze także udział w likwidacji miejscowych zagrożeń mogących spowodować pożar lub zagrożenie dla zdrowia, życia i bezpieczeństwa ludzi i mienia oraz środowiska naturalnego. Dokument PDSZ zobowiązuje tę służbę do podejmowania działań zapobiegających powstaniu i rozprzestrzenianiu się pożaru, klęski żywiołowej lub innego miejscowego zagrożenia, a także do prowadzenia kontroli stanu bezpieczeństwa pożarowego na terenie administracyjnym i w obiektach lotniska.

Do zadań LSRG należy również podejmowanie działań organizacyjno-technicznych w celu utrzymania stałej i wymaganej gotowości operacyjno-technicznej sprzętu pożarniczego, sprawowanie nadzoru nad utrzymaniem niezbędnego sprzętu i wyposażenia we właściwym stanie technicznym (ilościowym i jakościowym), prowadzenie teoretycznego i praktycznego szkolenia dla personelu LSRG. Ponadto w miarę potrzeb, prowadzenie szkolenia z zakresu ochrony przed pożarami oraz znajomości i obsługi podręcznego sprzętu gaśniczego dla pracowników portu oraz wykonywanie innych czynności związanych z ochroną przeciwpożarową w celu zapewnienia wymaganego bezpieczeństwa na terenie lotniska.

Zgodnie z rozporządzeniem Ministra Transportu, Budownictwa, Gospodarki Morskiej z dnia 4 kwietnia 2013 r. [1] lotniskowa służba ratowniczo-gaśnicza powinna:

- osiągać czas reakcji wynoszący do trzech minut do każdego punktu drogi (dróg) startowej używanej do operacji lotniczych na lotniskach naziemnych dla samolotów;
- mieć możliwość natychmiastowego podjęcia interwencji lub przebywać w bezpośrednim sąsiedztwie lotniska podczas wykonywania operacji lotniczych – na lotniskach nawodnych dla samolotów i śmigłowców oraz na lotniskach dla śmigłowców na obiektach;
- osiągać czas reakcji wynoszący do dwóch minut – na lotniskach naziemnych dla śmigłowców.

Czas reakcji jest mierzony od ogłoszenia alarmu dla lotniskowej służby ratowniczo-gaśniczej do pierwszej interwencji pojazdu lub pojazdów ratowniczo-gaśniczych, zapewniających podanie co najmniej 50% wydatku środków gaśniczych określonych w załączniku nr 1 do powyższego rozporządzenia.

2. Zakres szkoleń doskonalących dla pracowników LSRG

2.1. Warunki i program szkolenia lotniskowych służb ratowniczo-gaśniczych

Zgodnie z zapisami rozporządzenia Ministra Transportu, Budownictwa, Gospodarki Morskiej z dnia 4 kwietnia 2013 r. w sprawie przygotowania lotnisk do sytuacji zagrożenia oraz lotniskowych służb ratowniczo-gaśniczych [1], zarządzający lotniskiem zapewnia udział pracowników lotniskowej służby ratowniczo-gaśniczej, przynajmniej raz na 4 lata, w szkoleniu w zakresie ratownictwa lotniskowego, prowadzonego w ośrodku szkolenia lotniskowych służb ratowniczo-gaśniczych. Szkolenia są przeprowadzane w formie kursów składających się z części teoretycznej i praktycznej.

Część praktyczna powinna być przeprowadzana w grupach od 3 do 9 osób, w szczególności na:

- stanowiskach ćwiczeń,
- placach ćwiczeń,
- poligonie specjalistycznym,
- na terenie obiektów infrastruktury lotniskowej.

W zależności od potrzeb i możliwości część praktyczna szkolenia może odbywać się na terenie jednostki lotniskowej służby ratowniczo-gaśniczej.

Szkolenie przeprowadzają:

- specjaliści z zakresu ratownictwa i ochrony przeciwpożarowej w lotnictwie,
- funkcjonariusze Państwowej Straży Pożarnej,
- specjaliści z zakresu budowy i eksploatacji statków powietrznych,
- inni specjaliści z zakresu:
  - lotnictwa,
  - ratownictwa.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.15

Szkolenie kończy się egzaminem teoretycznym i praktycznym, obejmującym wszystkie tematy będące przedmiotem szkolenia. Termin i warunki egzaminu określone są w regulaminie szkolenia ośrodka szkolenia lotniskowych służb ratowniczo-gaśniczych, uzgodnionym z komendantem głównym Państwowej Straży Pożarnej i zatwierdzonym przez prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego. Szkolenie przeprowadza się zgodnie z programem szkolenia lotniskowych służb ratowniczo-gaśniczych, określonym w załączniku nr 2 do rozporządzenia. Zarządzający lotniskiem organizuje na terenie jednostki lotniskowej służby ratowniczo-gaśniczej system bieżącego szkolenia doskonalącego pracowników lotniskowej służby ratowniczo-gaśniczej.

Bieżące szkolenie doskonalące obejmuje następujące zagadnienia:

- operacyjne przygotowanie lotniska,
- topografię lotniska i rejonu operacyjnego lotniska,
- budowę statków powietrznych,
- bezpieczeństwo osobiste personelu ratowniczo-gaśniczego,
- systemy łączności, alarmowania, współdziałania i dowodzenia,
- budowę i eksploatację sprzętu i pojazdów ratowniczo-gaśniczych,
- środki gaśnicze i sposób ich zastosowania,
- taktykę działań ratowniczych, również w przypadku materiałów niebezpiecznych,
- udzielanie pomocy osobom poszkodowanym w warunkach pozaszpitalnych,
- współdziałanie służb podległych zarządzającemu lotniskiem oraz służb i podmiotów zewnętrznych w trakcie działań ratowniczych w rejonie operacyjnym lotniska i poza nim.

Po ukończeniu szkolenia uczestnicy powinni:

- znać:
  - zasady obowiązujące podczas operacji startu i lądowania statków powietrznych, ruchu naziemnego pojazdów na terenie lotniska,
  - kierunki lądowań i startów statków powietrznych, drogi kołowania i dojazdowe oraz warunki i zasady bezpiecznego i szybkiego dojazdu do miejsca wypadku lub incydentu lotniczego,
  - budowę samolotów i śmigłowców mającą wpływ na przeprowadzenie skutecznej ewakuacji zagrożonych ludzi oraz prowadzenie działań ratowniczych,
  - budowę, parametry taktyczno-techniczne, zasady działania i wykorzystania sprzętu będącego na wyposażeniu lotniskowych jednostek ratowniczych,
  - wybrane zagadnienia z zakresu zapobiegania pożarom i przeciwdziałania innym zagrożeniom występującym na terenie lotniska,
  - środki gaśnicze i neutralizatory oraz możliwości ich stosowania,
  - funkcje i zasady dowodzenia, w szczególności zastępem i sekcją,
  - mechanizmy procesu spalania i rozwoju pożaru samolotów,
  - metody i sposoby gaszenia pożarów samolotów i innych obiektów na terenie lotniska,
  - zasady taktyki działań ratowniczych prowadzonych przez lotniskowe służby ratowniczo-gaśnicze podczas różnych zdarzeń i w różnych warunkach,
  - zasady organizacji i utrzymania łączności dowodzenia i współdziałania,
  - zasady postępowania przy występowaniu materiałów niebezpiecznych,
  - zasady udzielania pomocy osobom poszkodowanym w warunkach pozaszpitalnych podczas wypadków i incydentów lotniczych,
  - zasady bezpieczeństwa i higieny pracy w strażnicach, podczas szkolenia, ćwiczeń i działań ratowniczych,
- umieć:
  - obsługiwać sprzęt znajdujący się na wyposażeniu lotniskowych służb ratowniczych i wykorzystywać walory taktyczno-techniczne sprzętu,
  - prowadzić rozpoznanie w różnych warunkach i podczas różnych zdarzeń,
  - dowodzić zastępem i sekcją,
  - organizować oraz utrzymywać łączność dowodzenia i współdziałania,
  - organizować i prowadzić ewakuację i ratowanie ludzi oraz mienia podczas wypadków i incydentów lotniczych i innych zdarzeń,
  - formułować poprawnie pod względem treści i formy rozkazy bojowe,
  - składać meldunki o rozwoju sytuacji i przebiegu działań,
  - dokonywać wyboru odpowiednich środków gaśniczych i skutecznie operować prądami gaśniczymi,
  - określać niezbędne służby i sprzęt do prowadzonych działań ratowniczych,
  - organizować i prowadzić zajęcia w ramach doskonalenia zawodowego,
  - sprawdzać stan techniczny powierzonego sprzętu,
  - udzielać pomocy osobom poszkodowanym w warunkach pozaszpitalnych,
  - stosować zasady bezpieczeństwa i higieny pracy w strażnicach, podczas szkolenia, ćwiczeń i działań ratowniczych,
  - gasić pożary różnych obiektów,
  - oceniać możliwość rozwoju pożaru,
  - skutecznie prowadzić akcje ratownictwa technicznego, chemicznego i ekologicznego.

Na podstawie dostępnych w literaturze przykładów zastosowania wirtualnej rzeczywistości autorzy artykułu określili następujące obszary wykorzystania wirtualnej rzeczywistości w szkoleniach pracowników LSRG:

- topografia lotniska i rejon operacyjny lotniska,
- łączność radiowa,
- budowa statków powietrznych,
- lotniskowy sprzęt ratowniczo-gaśniczy,
- rozpoznawanie zagrożeń,
- taktyka działań ratowniczych w lotnictwie,
- zagrożenia chemiczne i ekologiczne na lotnikach,
- współdziałanie służb podległych zarządzającemu lotniskiem oraz służb i podmiotów zewnętrznych w trakcie działań ratowniczych w rejonie operacyjnym lotniska i poza nim.

Wykorzystanie elementów wirtualnej rzeczywistości może podnieść poziom wyszkolenia pracowników LSRG przy jednoczesnym sprowadzeniu do minimum jego kosztów. Takie szkolenie gwarantuje także pełną powtarzalność warunków nauki dla wszystkich jego uczestników.

3. Szkolenie w zakresie działań zespołów pirotechników na terminalu lotniczym z wykorzystaniem symulatora wirtualnego [14]

Wykonywanie zadań służbowych na terenie terminalu lotniczego związane jest ze współdziałaniem różnych formacji w tym również Straży Granicznej. Jednym z kierunków rozwoju systemów szkoleń specjalistycznych jest budowa narzędzi symulacyjnych mających na celu naukę i sprawdzenie specyficznych, poprawnych zachowań funkcjonariuszy Straży Granicznej (SG) w porcie lotniczym. Symulatory wirtualne w tym względzie oferują wartościowe wsparcie, gdyż

wizualizując środowisko, w którym rozgrywa się operacja, są w stanie realistycznie przedstawiać działania osób podejrzanych i funkcjonariuszy uczestniczących w scenariuszu symulacyjnym. W ramach projektu rozwojowego DOBR/0023/R/ID3/2013/03 pt. „Wirtualny system doskonalenia taktyki ochrony Granicy Państwowej oraz kontroli ruchu granicznego" przygotowany został symulator szkoleniowy obejmujący zakres podstawowych zadań SG w ramach kontroli ruchu granicznego, a przede wszystkim działań pirotechnika Straży Granicznej w zakresie reakcji na zagrożenia bombowe. Formacja SG posiada bogaty zbiór dobrych praktyk, który wykorzystywany jest jako regulamin działania służby. W szczególnych przypadkach katalog dobrych praktyk wspierany jest odpowiednimi aktami prawnymi dotyczącymi obowiązków Straży Granicznej (ustawa z dnia 12 października 1990 r. o Straży Granicznej) lub prowadzonych działań np. prawem lotniczym (ustawa z dnia 3 lipca 2002 r. Prawo lotnicze, załącznik do obwieszczenia nr 5 Prezesa Urzędu Lotnictwa Cywilnego z dnia 9 sierpnia 2007 r. (poz. 20).

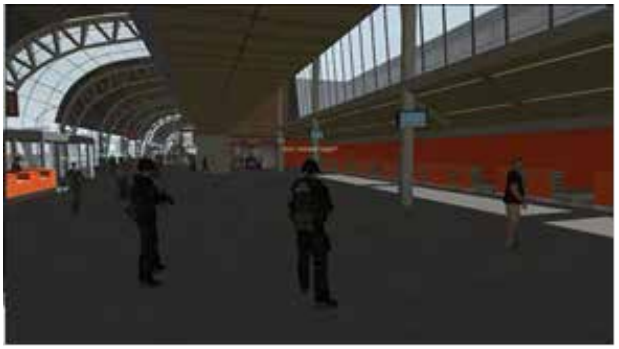
Scenariusze wspierające kształcenie, szkolenie i egzaminowanie funkcjonariuszy pełniących rolę pirotechników składają się z dwóch etapów. W pierwszym etapie zamodelowane są podstawowe zachowania osób i funkcjonariuszy odwzorowujące zwykłe działanie portu lotniczego, w drugim etapie – zachowania wynikające z działań pirotechnika w reakcji na zdarzenia związane z obsługą sytuacji kryzysowych. Odwzorowanie drugiego aspektu wymaga modelowania wariantów reakcji pirotechnika na poszczególnych etapach analizy i usunięcia zagrożenia bombowego. Działanie pirotechnika obejmuje przeprowadzenie następującej sekwencji czynności:

- odnalezienie i zaraportowanie pozostawionego, podejrzanego bagażu lub pakunku na hali odpraw portu lotniczego – informacje o takim obiekcie przekazywać mogą: pasażerowie, obsługa portu lotniczego i funkcjonariusze SG;
- identyfikację źródła zagrożenia, np. poprzez przegląd dostępnych materiałów z monitoringu.

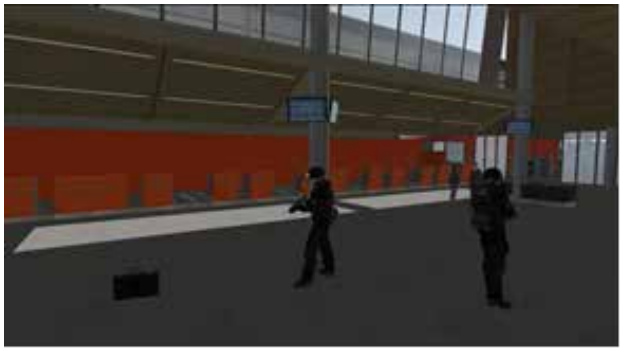
Poniżej przedstawiono przykładowy scenariusz postępowania w przypadku zagrożenia. Scenariusz ten zawiera sekwencję etapów, które ćwiczący musi poprawnie wykonać. Środowisko symulatora zakłada wykonanie scenariusza w zespole trzyosobowym. Uczestnicy szkolenia proszeni są o podejmowanie decyzji w przypadkach komunikowanych przez symulator w postaci okien dialogowych. Rozwiązanie to upraszcza wizualizację skomplikowanych graficznie czynności, ale przede wszystkim pozwala skupić się ćwiczącym na nauce i weryfikacji procedur działań. Ograniczenie interaktywności pozwala również zredukować działania do minimum związanego z celem scenariusza. Zawężenie interakcji i obszaru działania w scenariuszu minimalizuje również ewentualne błędy ćwiczącego, które mogą spowodować definitywne przerwanie ćwiczenia. Procedury reagowania na zagrożenie wymagają, oprócz realizacji poprawnego i regulaminowego podejścia do podejrzanego obiektu, ustalenie właściciela obiektu lub bagażu. Wszystkie czynności scenariusza muszą mieścić się w narzuconym reżimie czasowym, w związku z czym, symulator prezentuje stosowne ograniczenia czasowe, wzbogacane dodatkowo przerywnikami fabularnymi, sugerującymi zdarzenia mające wpływ na scenariusz (np. przyjazd pojazdu specjalnego z osprzętem pirotechnicznym).

Podejmowane przez ćwiczącego decyzje dotyczące doboru sprzętu oraz wykonywanych czynności mają wpływ na poprawną realizację zadań. Jednym z założeń narzędzia do szkolenia pirotechników jest prezentacja poprawnego wariantu działania w przypadku wyboru wariantu błędnego. W ten sposób ćwiczący uczy się, podejmując błędne decyzje. Wizualizacja w środowisku 3D pozwala również oswoić się ćwiczącym z realistycznymi warunkami działania na terenie portu lotniczego.

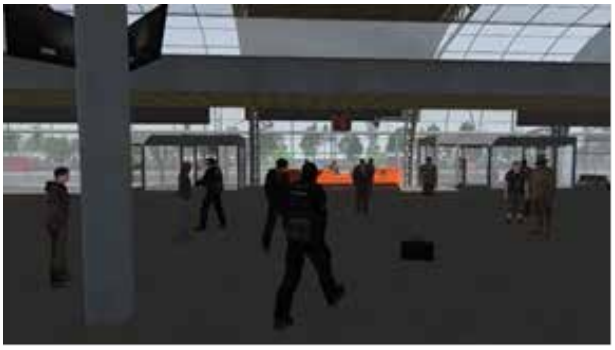
Ryc. 1. Lokalizacja sprzętu [14]
Fig. 1. Location of equipment [14]



Ryc. 2. Wykrycie podejrzanego bagażu [14]
Fig. 2. Detection of suspicious luggage [14]



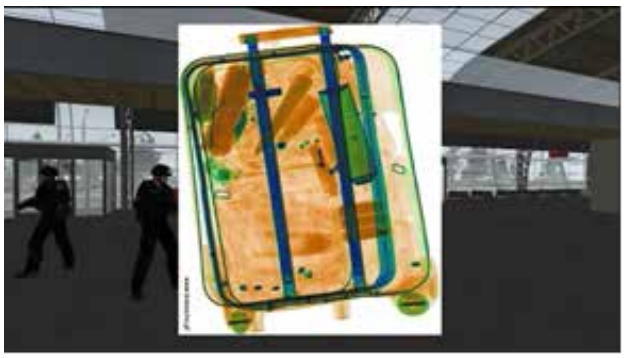
Ryc. 3. Identyfikacja podejrzanego bagażu [14]
Fig. 3. Identification of suspicious luggage [14]



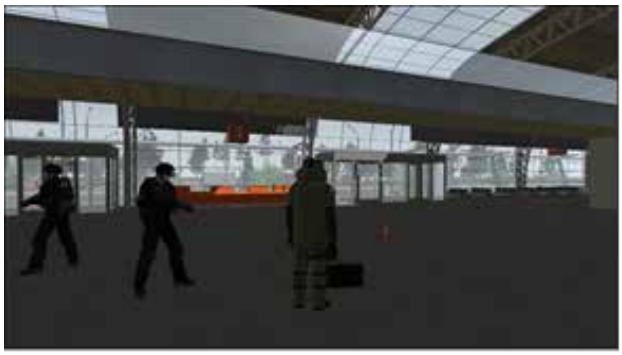
Ryc. 4. Uruchomienie procedury neutralizacji podejrzanego bagażu [14]
Fig. 4. Start-up procedures for neutralization of suspicious luggage [14]

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.15

Ryc. 5. Wezwanie transportu specjalistycznego [14]
Fig. 5. Call specialist transport [14]



Ryc. 6. Ustalenie zawartości bagażu [14]
Fig. 6. Determining the contents of luggage [14]



Ryc. 7. Neutralizacja zagrożenia [14]
Fig. 7. Neutralizing threats [14]

Ryc. 8. Transport ładunku [14]
Fig. 8. Transporting the charge [14]

Ryc. 9. Detonacja ładunku [14]
Fig. 9. Detonating the charge [14]

W scenariuszu wykonywane są następujące czynności:

1. Lokalizacja sprzętu technicznego wspierającego pirotechnika w prowadzonych operacjach oraz wykrycie bagażu i procedury związane z wywiadem osób będących świadkami pozostawienia bagażu. Obsługa portu lotniczego sygnalizuje stosowanymi komunikatami informacje o bagażu pozostawionym na hali.

2. Wykrycie niezidentyfikowanego, pozostawionego bez opieki bagażu na terenie hali portu lotniczego. Wykrycie zgłoszone przez patrol Straży Granicznej. Meldunek do kierownika zmiany. Kierownik zmiany wzywa na miejsce znalezienia bagażu pirotechnika, który rozpoczyna czynności związane z identyfikacją zagrożenia i jego neutralizacją. Pirotechnik udaje się pod wskazaną w rozkazie lokalizację.

3. Po przeprowadzeniu wstępnych czynności identyfikujących zagrożenie, na polecenie pirotechnika wzywany jest specjalistyczny sprzęt do transportu materiałów wybuchowych. Pirotechnik, wykorzystując dostępne warianty użycia sprzętu technicznego, ustala zawartość bagażu i identyfikuje potencjalne zagrożenia. Zwraca uwagę również na dane z monitoringu hali portu lotniczego. Pozyskane dane z monitoringu pozwalają wstępnie ocenić ryzyko prowadzonej operacji.

4. Po zidentyfikowaniu zagrożenia, pirotechnik wybiera scenariusz neutralizacji zagrożenia. Następnie zakłada odpowiednią odzież ochronną oraz przystępuje do neutralizacji na miejscu lub – w zależności od stopnia zagrożenia – odtransportowuje bagaż do strefy neutralizacji. Funkcjonariusz musi wybrać odpowiedni wariant neutralizacji. Wybór zależy od zawartości bagażu i potencjalnego ryzyka związanego z poprawną neutralizacją. Procedury neutralizacji związane są z wykorzystaniem odpowiednich środków technicznych, jak również wykonywaniem czynności poza terenem portu lotniczego oraz w specjalnie przygotowanym miejscu.

4. Odwzorowanie elementów terminalu lotniczego w symulatorze wirtualnym na przykładzie terminalu lotniczego Modlin

Prezentowane w artykule środowisko symulacji wirtualnej VBS3, oprócz prowadzenia symulacji, dostarcza narzędzia

do budowy scenariuszy szkoleniowych. Jest to bardzo ważne, ponieważ przygotowanie specjalnych scenariuszy odwzorowujących elementy rzeczywiste jest kluczowym czynnikiem określającym przydatność takich symulatorów.

Środowisko symulacyjne umożliwia:

- budowę map cyfrowych,
- budowę obiektów charakterystycznych dla terminalu wraz z samym terminalem lotniczym,
- budowę pojazdów,
- budowę postaci odwzorowujących poszczególne służby.

Do budowy mapy cyfrowej wykorzystywane są następujące dane GIS:

- zdjęcia satelitarne (ortofotomapa),
- dane wysokościowe,
- dane wektorowe:
  - sieć drogowa,
  - obszary leśne,
  - zbiorniki wodne,
  - rzeki,
  - budynki,
  - inne obiekty jak ogrodzenia lub szlabany.

W rozpatrywanym przykładzie na podstawie rzeczywistych danych GIS (ryc. 10) opracowano mapę okolic terminalu Modlin [14]. Przy budowie mapy uwzględniono rozmieszczenie zasadniczych budynków, układ dróg, elementy roślinności oraz pas lotniska z drogami kołowania.

Kluczowym elementem scenariusza związanego z działaniami na lotnisku jest odwzorowanie terminalu lotniczego. W opracowanym modelu wirtualnym terminalu uwzględniono jego następujące miejsca:

- halę odlotów (stanowiska do nadawania bagaży)
- stanowiska kontroli bagaży i osób,
- halę za kontrolą,
- halę przylotów przed kontrolą,
- halę przylotów po kontroli,
- pomieszczenia na antresoli,
- zaplecze techniczne,
- pomieszczenia służbowe,
- pomieszczenia pirotechników.

Elementy te zostały odwzorowane w modelu wirtualnym z uwzględnieniem ich rzeczywistych rozmiarów i wyglądu. Ryc. 11 przedstawia widok terminalu w symulatorze oraz projekt siatki 3D wykonany w programie Oxygen2.

Wierne odwzorowanie układu pomieszczeń terminalu wraz z jego otoczeniem umożliwia prowadzenie ćwiczeń oraz współdziałanie służb funkcjonujących na terenie terminalu.

Poza budynkiem charakterystycznymi obiektami związanymi z terminalem lotniczym są specjalistyczne pojazdy. W symulatorze odwzorowano ich następujące rodzaje:

- przyczepę do przewożenia ładunków niebezpiecznych,
- specjalistyczne pojazdy lotniskowe typu „follow me",
- pojazdy straży granicznej,
- pojazdy straży pożarnej.

Przyczepa do przewożenia ładunków niebezpiecznych została zaprojektowana w taki sposób, aby umożliwić przećwiczenie procedury załadunku.

Ostatnim nieodzownym elementem scenariuszy są osoby. W ramach prac nad symulatorem do scenariuszy wprowadzono postacie reprezentujące funkcjonariuszy poszczególnych służb. Odwzorowano ich wygląd, elementy wyposażenia i uzbrojenia oraz zachowanie. Zapewniono także możliwość sterowania manualnego postaciami z wykorzystaniem algorytmów sztucznej inteligencji (AI).

Opracowanie mapy, budynków, obiektów oraz postaci stanowiło ostatni etap przygotowania danych do budowy scenariuszy.

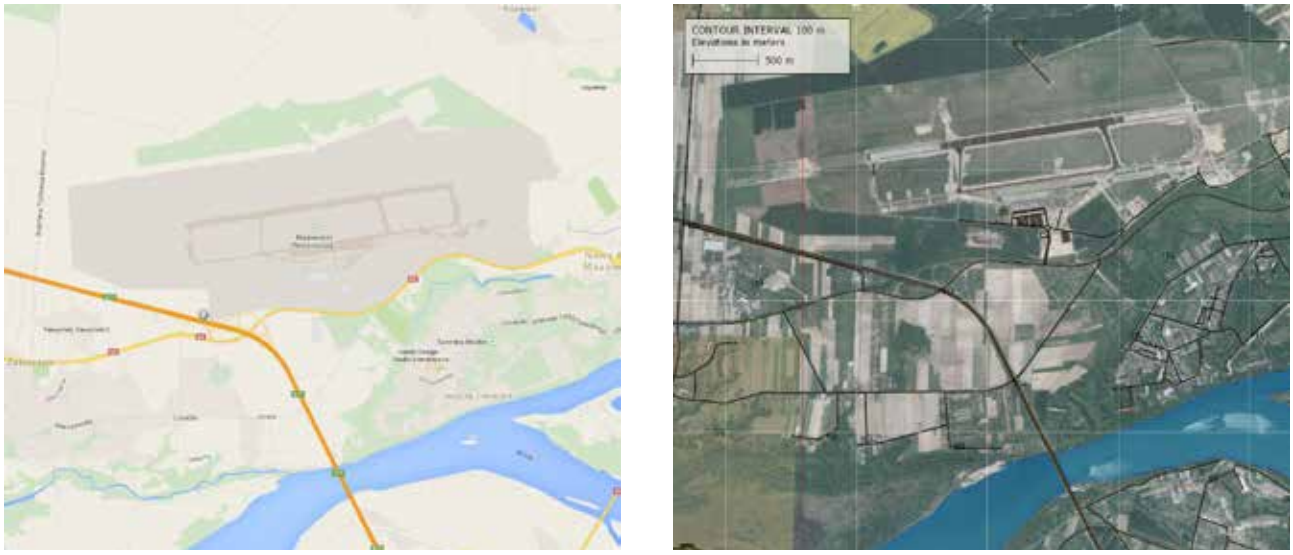
Technologie projektowania trenażerów i symulatorów w programowalnym środowisku symulacji wirtualnej VBS3Z pozwala na budowę zaawansowanych wielostanowiskowych scenariuszy ćwiczebnych realizujących różne cele szkoleniowe [5], [12], [17].

Ryc. 17 przedstawia widok okna głównego edytora scenariuszy w widoku 2D. Możliwa jest także budowa scenariusza w widoku 3D.

W podstawowym wariancie, ćwiczenia odbywają się na sali szkoleniowej wyposażonej w niezbędny sprzęt komputerowy.

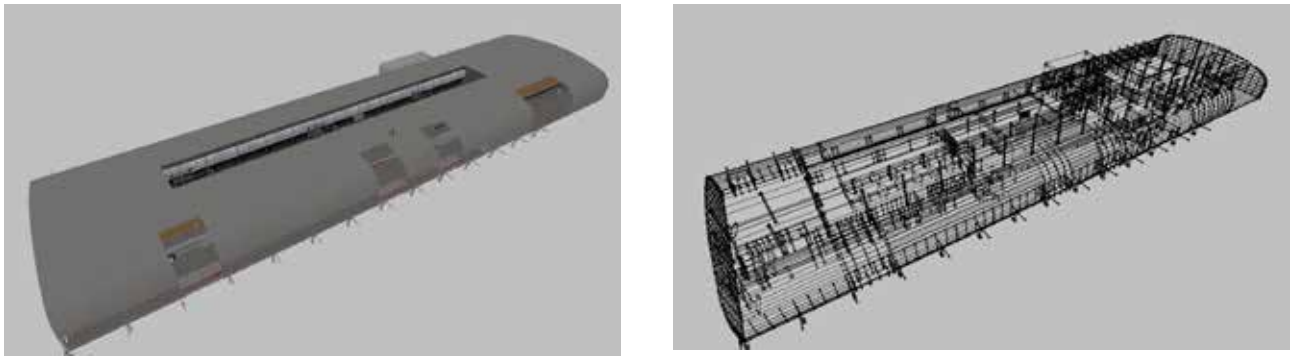
Instruktor uruchamia ćwiczenie, po czym każdy z uczestników szkolenia na swoim stanowisku realizuje zadania przypisane do swojej roli. Cały przebieg scenariusza jest kontrolowany przez instruktora i kierownictwo ćwiczenia. W każdym momencie instruktor może ingerować w przebieg scenariusza. Ma on m.in. możliwość:

- dodawania lub usuwania obiektów,
- niszczenia/naprawiania obiektów (np. podpalenie),
- zranienia/wyleczenia osób,

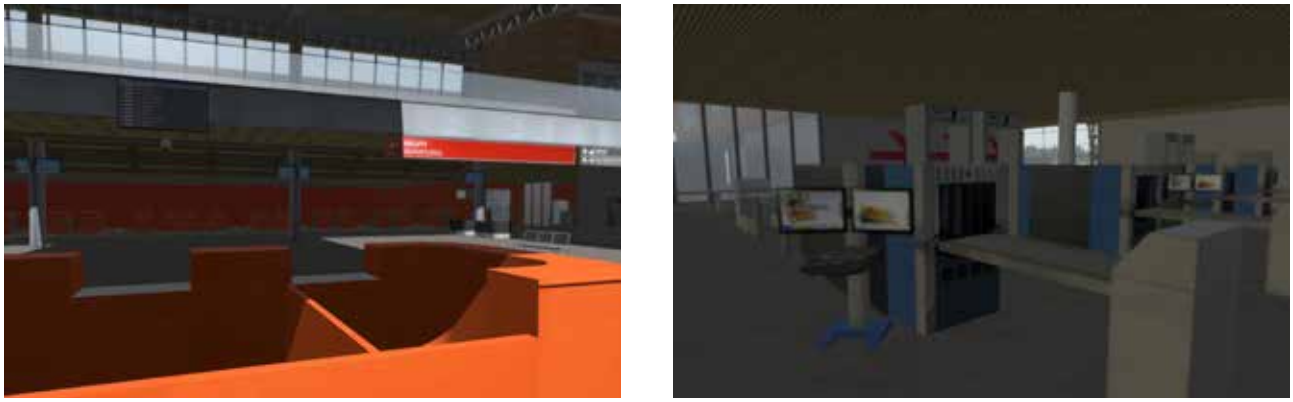


Ryc. 10. Fragment mapy rzeczywistej okolic Modlina i jej odwzorowanie w symulatorze wirtualnym VBS3 [14]
Fig. 10. Actual map section of Modlin surroundings and its representation in virtual VBS3 simulator [14]

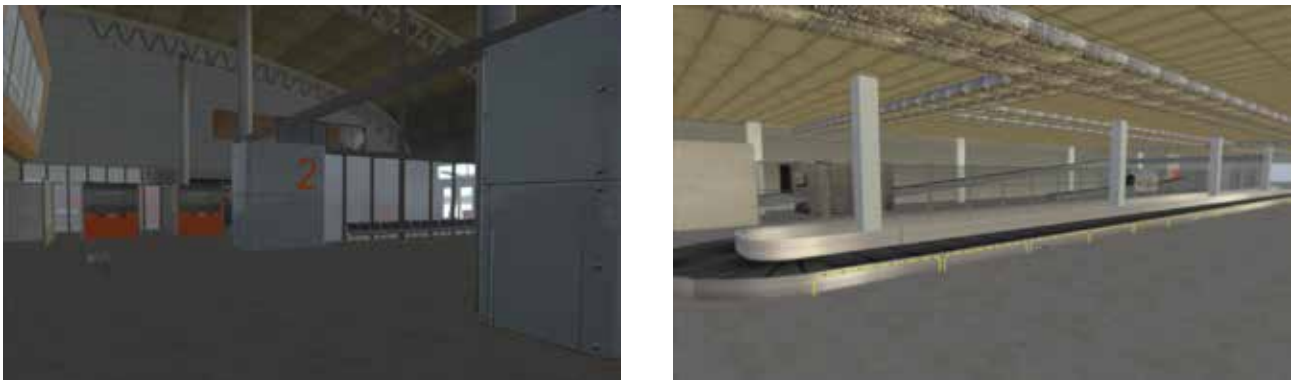
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.15



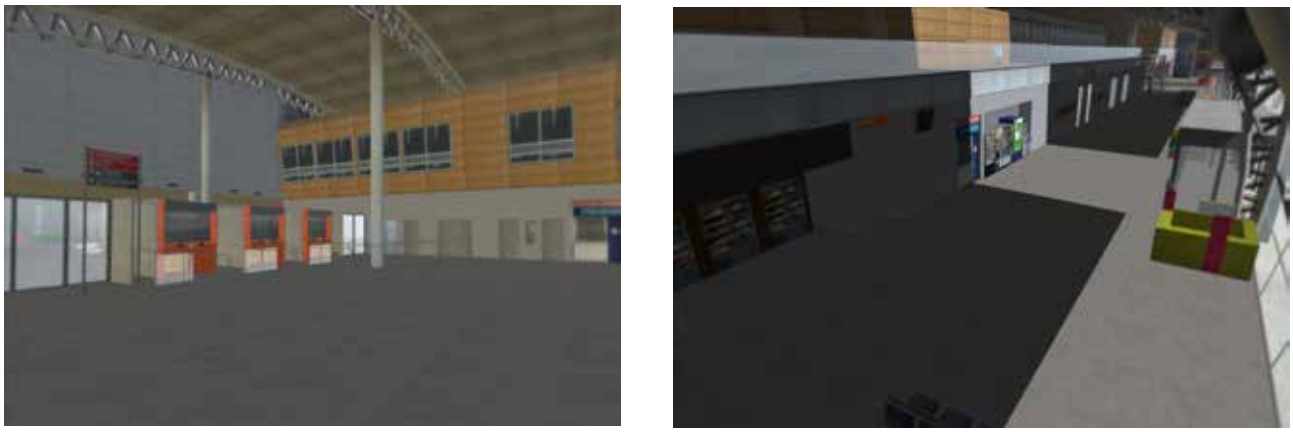
Ryc. 11. Widok 3D terminalu Modlin z siatką 3D [14]
Fig. 11. 3D view of the Modlin terminal with a 3D net [14]



Ryc. 12. Widok 3D hali odpraw oraz kontroli [14]
Fig. 12. 3D view of the check and control hall [14]

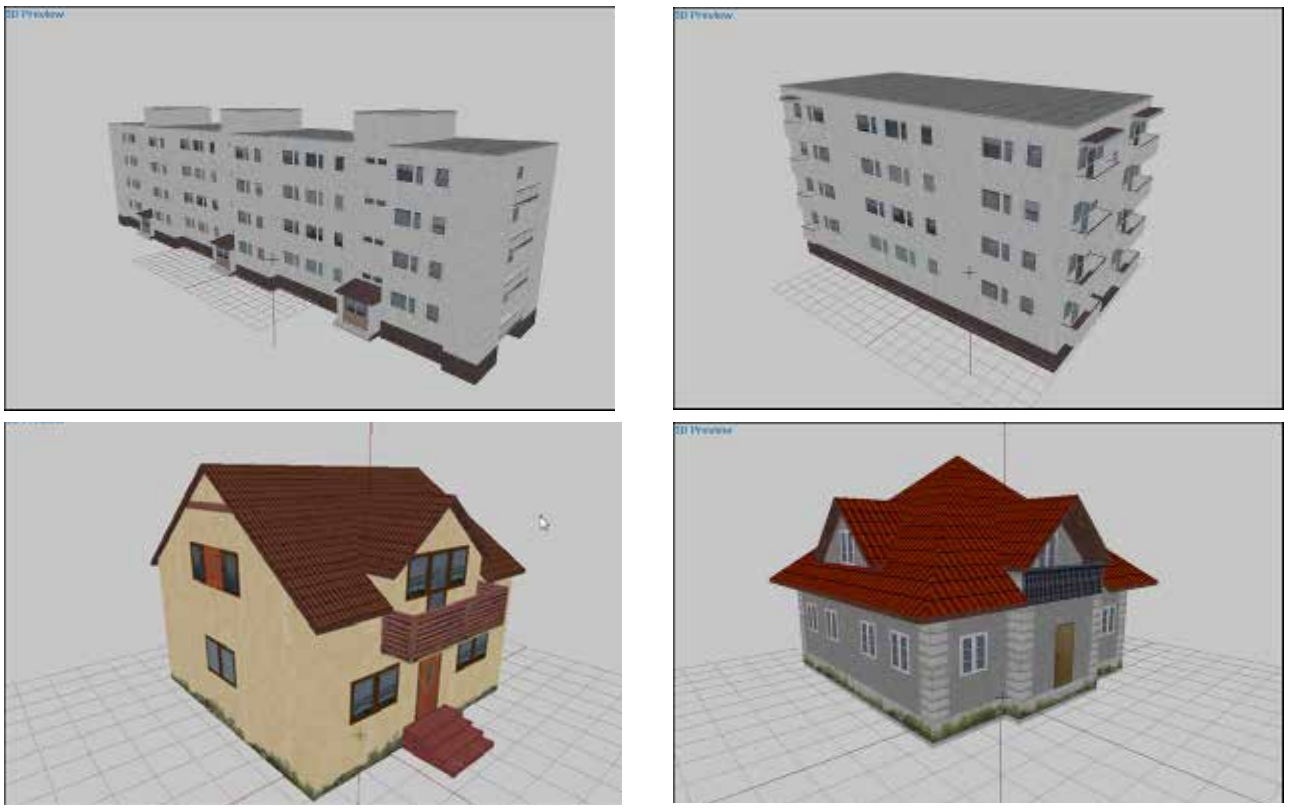


Ryc. 13. Widok 3D hali odlotów oraz zaplecza technicznego terminalu [14]
Fig. 13. 3D view of the departure hall and technical equipment base of the terminal [14]



Ryc. 14. Widok 3D hali przylotów [14]
Fig. 14. 3D view of the arrivals hall [14]

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 173–184
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.15



Ryc. 15. Projekty budynków z biblioteki scenariuszy [14]
Fig. 15. Designs of the buildings from the scenarios library [14]

Ryc. 16. Przyczepa do przewozu ładunków niebezpiecznych [14]
Fig. 16. A trailer for transporting dangerous goods [14]

- zmiany warunków pogodowych,
- zmiany pory doby,
- zatrzymania/wznowienia symulacji,
- przyspieszania/zwalniania symulacji.

Istnieje możliwość zarejestrowania całej symulacji. Po zakończeniu ćwiczenia moduł AAR (After Action Review) może posłużyć do omówienia zrealizowanego ćwiczenia i oceny jego uczestników.

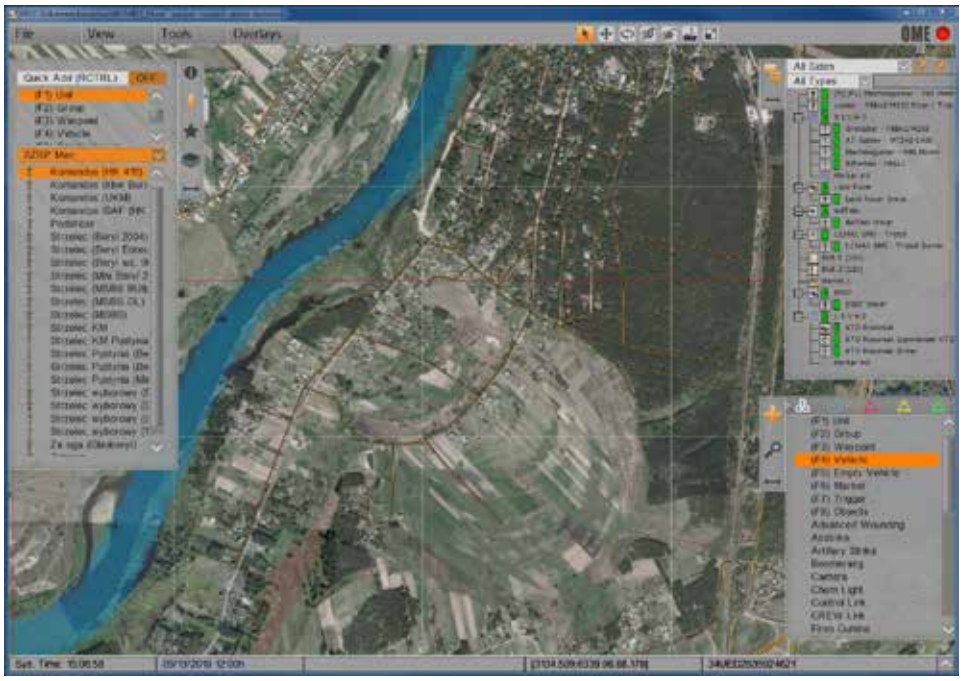
5. Podsumowanie

1. Zastosowanie symulatorów wirtualnych do szkolenia służb działających w obrębie terminalu lotniczego stanowi uzupełnienie oraz alternatywę dla kosztownych i obarczonych dużym ryzykiem ćwiczeń na rzeczywistym sprzęcie i bezpośrednio w terminalu lotniczym.
2. Zastosowanie różnorodnych scenariuszy zaimplementowanych w środowisku symulacji wirtualnej umożliwia przeprowadzenie szerokiego zakresu ćwiczeń w tym takich, które w rzeczywistych warunkach ze względów bezpieczeństwa nie są przeprowadzane. Jednocześnie można zasymulować eskalację zdarzeń, dzięki czemu możliwa jest ocena decyzji, jakie podejmowaliby ćwiczący w rzeczywistych warunkach.
3. Zaprezentowany przykład odwzorowania terminalu lotniczego Modlin oraz jego najbliższej okolicy świadczy o dużych możliwościach odtwarzania istotnych elementów obiektów rzeczywistych do budowy scenariuszy szkoleniowych, które dla ćwiczących są zbliżone do realnych warunków.
4. Technologia projektowania trenażerów i symulatorów w programowalnym środowisku symulacji wirtualnej VBS3 omawiana powyżej jako jedno z narzędzi symulacji wirtualnej umożliwia prowadzenie szkoleń składających się z wielu stanowisk. Możliwe jest także łączenie i współdziałanie z innymi specjalistycznymi symulatorami.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.15

Ryc. 17. Pojazd LSRG, policji, straży granicznej i ambulans [13-14]
Fig. 17. LSRG, police, border police and ambulance vehicles [13-14]

Ryc. 18. Projekt postaci funkcjonariuszy różnych służb [13-14]
Fig. 18. A design of the officers from various services [13-14]



Ryc. 19. Widok 2D ekranu głównego edytora scenariuszy [17]
Fig. 19. 2D view of the main screen of scenarios editor [17]

W artykule przedstawiono wyniki badań w ramach projektu rozwojowego nr DOBR/0023/R/ID3/2013/03 pt. „Wirtualny system doskonalenia taktyki ochrony Granicy Państwowej oraz kontroli ruchu granicznego" finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju oraz w ramach programu DEMONSTRATOR, UOD-DEM-1-501/001 pt. „Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający efektywność i bezpieczeństwo ich działania" finansowanego ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.

Wykaz skrótów

LSRG - Lotniskowa Służba Ratowniczo-Gaśnicza
PDSZ - Plan Działania w Sytuacji Zagrożenia
PPL - Przedsiębiorstwa Państwowe Porty Lotnicze
RG - ratowniczo-gaśniczych

Literatura

[1] Rozporządzenie Ministra Transportu, Budownictwa i Gospodarki Morskiej z dnia 4 kwietnia 2013 r. w sprawie przygotowania lotnisk do sytuacji zagrożenia oraz lotniskowych służb ratowniczo-gaśniczych (Dz. U. poz.487 z dnia 23 kwietnia 2013 r.)
[2] Wantoch-Rekowski R. (red.), *Technologie projektowania trenażerów i symulatorów w programowalnym środowisku symulacji wirtualnej VBS3*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2016.
[3] Kaczmarczyk A., Kacprzak M., Masłowski A. ,*Wielopoziomowy trening symulacyjny w szkoleniu operatorów urządzeń. Zastosowanie do szkolenia operatorów robotów mobilnych*, „Elektronika" 2009, 11, 92-96
[4] Roguski J., Wantoch-Rekowski R., Szumiec K., *Zastosowanie symulacji wirtualnej w zakresie szkolenia operatorów bezzałogowych platform lądowych wykorzystywanych do działań ratowniczo-gaśniczych*, BiTP Vol. 36 Issue 4,2014, pp. 113-123.
[5] Wantoch-Rekowski R. (red.), *Programowalne środowisko symulacji wirtualnej VBS2*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2013.
[6] Roguski J., Wantoch-Rekowski R., Koszela J., Majka A., *Koncepcja symulatora do szkolenia kierowców wozów bojowych PSP w zakresie zadań realizowanych w ramach krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego*. BiTP Vol. 28 Issue 4, 2012, pp. 71-81.
[7] Wantoch-Rekowski R., Koszela J., *Zastosowania symulatorów do szkolenia w zakresie sytuacji kryzysowych*, BiTP BiTP Vol. 29 Issue 1, 2013, pp. 113-120.
[8] Koszela J., Drozdowski T., Wantoch-Rekowski R., *Przygotowanie danych terenowych na potrzeby symulacji wielorozdzielczej,* „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe", 2012, 31, pp. 109-118.
[9] Wantoch-Rekowski R., Roguski J., *Szkolenia operatorów bezzałogowych statków powietrznych w zakresie działań ratowniczo-gaśniczych,* BiTP Vol. 41 Issue 14, 2016, pp. 75-83.
[10] Stopniak M., Wantoch-Rekowski R., *Rozwój środowiska symulacji wirtualnej VBS3,* „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe" 2014, 149-154.
[11] Koszela J., Wróblewski P., Szymańska A., Wantoch-Rekowski R., *Projekt i implementacja mechanizmów sztucznej inteligencji w środowisku symulacyjnym VBS2,* „Szybkobieżne Pojazdy Gąsienicowe"2012, 31 (), 119-132.
[12] Instalacja środowiska symulacji wirtualnej VBS3.
[13] Projekt rozwojowy Nr O ROB 0001 01/ID pt. „Opracowanie nowoczesnych stanowisk szkoleniowych zwiększających skuteczność działań ratowników KSRG" finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, 2011-2013.
[14] Projekt rozwojowy nr umowy DOBR/0023/R/ID3/2013/03 pt. „Wirtualny system doskonalenia taktyki ochrony Granicy Państwowej oraz kontroli ruchu granicznego" finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, 2012-2015.
[15] Projekt programu DEMONSTRATOR+ nr umowy UOD-DEM-1-501/001 pt. „Nowoczesny demonstrator symulatora dla operatorów pojazdów szynowych zwiększający efektywność i bezpieczeństwo ich działania" finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, 2014-2016.
[16] Projekt rozwojowy nr umowy DOB-BIO6/03/48/2014 pt. „Innowacyjne rozwiązania metod stabilizacji konstrukcji budowlanych i technologicznych w warunkach działań ratowniczych podczas likwidacji skutków katastrofy budowlanej" finansowany ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego, 2014-2017.
[17] Serwis internetowy www.vbs3.com [dostęp: 10.02.2016].

* * *

dr inż. Jacek Roguski – jest adiunktem w Biurze Projektów i Obsługi Badań CNBOP-PIB. Zajmuje się naukowo i praktycznie aspektami związanymi z zagadnieniami ochron osobistych, instalacji gaśniczych oraz problemami eksploatacji urządzeń technicznych. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów i monografii oraz wystąpień na konferencjach krajowych i zagranicznych.

mjr dr inż. Mariusz Chmielewski – od roku 2003 jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Wydziału Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej. Członek Zespołu Badawczego Modelowania, Symulacji i Informatycznego Wspomagania Decyzji w Sytuacjach Konfliktowych i Kryzysowych. Uczestniczył w ponad 12 projektach badawczo-rozwojowych z zakresu wspomagania decyzji i symulacji komputerowej, w tym 2 realizowanych dla Europejskiej Agencji Obrony. Kierownik prac badawczych z zakresu budowy baz wiedzy, mechanizmów wnioskowania i konstrukcji systemów wspomagania decyzji. Specjalizuje się w opracowaniu i aplikowaniu metod sztucznej inteligencji w zarządzaniu kryzysowym i medycynie. Kierownik projektu budowy wielorozdzielczego środowiska symulacyjnego wspomagania szkolenia funkcjonariuszy Straży Granicznej. Współautor systemów symulacyjnych i wspomagania dowodzenia wdrożonych w Siłach Zbrojnych RP. Autor i współautor ponad 20 rozdziałów w monografiach oraz ponad 50 obcojęzycznych referatów zagranicznych. Zdobywca ponad 40 zespołowych i indywidualnych międzynarodowych nagród za innowacyjność i wynalazczość. Architekt systemów symulacyjnych i wspomagania decyzji, współautor wielu autorskich rozwiązań mobilnych systemów monitoringu biomedycznego.

dr inż. Roman Wantoch-Rekowski – od roku 1992 jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym Wydziału Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej. Jest członkiem Zespołu Badawczego Modelowania, Symulacji i Informatycznego Wspomagania Decyzji w Sytuacjach Konfliktowych i Kryzysowych. Był kierownikiem prac badawczych własnych z zakresu analiz właściwości sieci neuronowych, kierownikiem prac rozwojowych finansowanych ze środków NCBiR oraz prac badawczych zamawianych. Jest współautorem systemów symulacyjnych wdrożonych w Siłach Zbrojnych RP. Jest autorem lub współautorem 10 monografii, 26 rozdziałów w monografiach, ponad 30 referatów na konferencjach krajowych oraz ponad 40 na konferencjach zagranicznych. Jest specjalistą w zakresie metod sztucznej inteligencji oraz zastosowania zaawansowanych systemów symulacyjnych do ćwiczeń wspomaganych komputerowo.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 185–194

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.16

prof. dr hab. inż. **Sławczo Denczew**[1]
mgr inż. **Grzegorz Serejko**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Ocena jakości wody zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne w aspekcie jej oddziaływania na stan techniczny urządzeń[3]

Evaluation of Water Quality which Supply Sprinkler Systems in Terms of its Impact on the Condition of Equipment

Оценка качества воды, снабжающей автоматические стационарные установки водяного пожаротушения, относительно ее влияния на техническое состояние оборудования

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu było przedstawienie wyników badań porównawczych wody wodociągowej oraz wody zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne pobranej z wybranych obiektów budowlanych. Wyboru obiektów budowlanych dokonano na podstawie ich wzajemnej lokalizacji, przeznaczenia i pełnionych funkcji. Ponadto podjęto próbę określenia istotnych parametrów wody wpływających na jej korozyjny charakter wobec komponentów stałych urządzeń gaśniczych wodnych.
Metody: Do oceny parametrów wody wodociągowej zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne wbudowywane w wybrane wielkopowierzchniowe obiekty handlowe wykorzystano metodę stężeń charakterystycznych. Metoda ta polega na obliczaniu średniej arytmetycznej z najmniej korzystnych wyników badań w ciągu roku. Pomocniczo wykorzystano metodę bezpośrednią do oceny zmian stężeń wybranych parametrów w ciągu roku.
Wyniki: Uzyskane wyniki badań potwierdziły znaczną zmienność parametrów wody wodociągowej zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne. Nawet woda niewykazująca korozyjnego charakteru w sieci wodociągowej może powodować korozję w obrębie stałych urządzeń gaśniczych wodnych. W porównaniu do badań wody wodociągowej w wodzie pobranej z instalacji odnotowano znaczący spadek jej twardości – dla stężeń maksymalnych rzędu 35%, a dla minimalnych rzędu 7%. Zabserwowano także znaczący wzrost stężeń siarczynów odpowiednio 91% i 233% dla stężeń minimalnych i maksymalnych. Ponadto odnotowano zmianę wartości przewodności, wzrost o około 10% dla wartości maksymalnych i spadek o 2% dla minimalnych. Podobnie jak w przypadku parametru przewodności odnotowano zmiany odczynu wody oraz zaobserwowano nietypową i trudną do dalszej interpretacji sytuację dla stężeń chloru.
Wnioski: Na podstawie zaprezentowanych wyników stwierdzono znaczną zmianę parametrów wody zasilającej po wprowadzeniu jej do systemu instalacji tryskaczowej. Do dalszej analizy konieczne jest wyznaczenie indeksów korozyjności wody Langeliera (IL), Ryznara (IR) oraz Larsona-Skolda w celu określenia korozyjnego charakteru pobranej wody zasilającej instalację tryskaczową. Konieczne są dalsze badania nad poszukiwaniem parametrów lub parametru wody, który jednoznacznie mógłby wskazywać na jej korozyjny charakter. Uzyskane wyniki w toku przyszłych badań mogą być podstawą do opracowania metody eksploatacji stałych urządzeń gaśniczych wodnych, zapewniającej możliwie najwyższą skuteczność działania.

Słowa kluczowe: jakość wody, instalacje tryskaczowe, korozja
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The aim of the article was to present test results of water supplying fixed water firefighting equipment installed in selected buildings. The buildings were selected based on their mutual location, purpose and performed functions. In addition, an attempt was made to determine the important water parameters which influence its corrosive nature which in turn affects components of the fixed water firefighting equipment.
Methods: To evaluate the parameters of water which supplies fixed water firefighting equipment installed in selected large-format commercial buildings a method of characteristic concentrations was used. This method involves calculating the arithmetic mean of the least favorable test results during one year. A direct method was used incidentally for assessing changes in concentrations of selected parameters within a year.

[1] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service, s.denczew@sgsp.edu.pl;
[2] Politechnika Warszawska / Warsaw University of Technology;
[3] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.16

Results: The obtained results confirmed significant variability of water supplying fixed water firefighting equipment. The supply water changes its characteristics when influenced by many factors, and although the water supply is not of corrosive nature, within the pipes and equipment of fixed water firefighting equipment it may become corrosive. There has been a significant decrease in water hardness for peak concentrations of 35%, for a minimum of 7%, a significant increase of the concentration of sulfites respectively 91% and 233% for minimum and maximum concentrations. Moreover, the change of conductivity was observed, as well as an increase of approximately 10% for maximum values and a decrease of 2% for the minimum. Similarly to the conductivity parameter, changes in water pH were observed, as well as an unusual situation for concentrations of chlorine, which is difficult for further interpretation.
Conclusions: Significant changes in the parameters of feed water were observed when it was supplied to the sprinkler system pipes. For further analysis, it was necessary to designate indexes of corrosiveness of water like Langelier (IL), Ryznar (IR) and Larson-Skold in order to determine the corrosive nature of water which supplies the sprinkler system. Further research is needed in order to search the parameters or the parameter of water, which could clearly indicate the corrosive character of water. The results obtained in the course of future research can be the basis for the development of a method of operation of fixed water firefighting equipment, which will ensure the highest possible reliability.

Key words: water quality, sprinklers systems, corrosion
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель данной статьи – представить результаты исследований воды, снабжающей автоматические стационарные установки водяного пожаротушения, встроенные в выбранные строительные объекты. Выбор зданий был проведен на основе их взаимного расположения, назначения и выполняемых ими функций. Кроме того, была предпринята попытка определить важнейшие параметры воды, влияющие на ее коррозионную способность относительно компонентов автоматических стационарных установок водяного пожаротушения.
Методы: Для оценки параметров воды, снабжающей автоматические стационарные установки водяного пожаротушения встроенные в выбранные многоэтажные торговые здания, был использован метод характеристических концентраций. Этот метод включает в себя вычисление среднего арифметического среди наименее благоприятных результатов испытаний в течение года. Дополнительно прямой метод был использован для оценки изменений в концентрации выбранных параметров в течение года.
Результаты: Полученные результаты подтвердили значительную изменчивость параметров воды, снабжающей стационарные установки водяного пожаротушения. Введенная в устройства вода меняет свои параметры под влиянием многих факторов, и, хотя в водопроводной сети не проявляет коррозионной способности, в пределах труб и оборудования стационарных автоматический установок пожаротушения может её проявить. Было зафиксировано значительное уменьшение жесткости воды при максимальной концентраций на уровне 35%, при минимальных – 7%. Также было обнаружено значительное увеличение концентрации сульфитов 91% и 233% соответственно для минимальной и максимальной концентрации. Кроме того, было замечено изменение проводимости, увеличение примерно на 10% для максимальных значений и снижение на 2% для минимальных. Аналогично проводимости было замечено изменение pH воды и необычная ситуация для концентраций хлора, трудной для дальнейшей интерпретации.
Выводы: На основе представленных результатов было установлено существенное изменение параметров воды после ее введения в систему проводов спринклерной инсталляции. Для дальнейшего анализа необходимо определить индексы коррозионной активности воды Ланжелье (IL) Ризнера (IR) и Ларсона-Скольда для определения коррозионной способности воды в системе спринклерной инсталляции. Необходимы дальнейшие исследования для поиска параметров или параметра воды, которые ясно свидетельствовали бы о коррозионной способности воды. Результаты, полученные в ходе будущих исследований могут стать основой для разработки метода эксплуатации стационарной автоматической установки водяного пожаротушения, обеспечивающей максимально возможную эффективность стационарных установок пожаротушения.

Ключевые слова: качество воды, спринклерная система, коррозия
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Lata dziewięćdziesiąte XX wieku to okres wielu reform społeczno-gospodarczych sprzyjających rozwojowi gospodarki rynkowej. Przemiany strukturalne najszybciej objęły strefę handlu. Ówczesne warunki gospodarcze pozwoliły zarówno na swobodne powstawanie, jak i wycofywanie się z rynku małych, średnich i dużych pod względem zatrudnienia, powierzchni i kapitału sklepów. W latach dziewięćdziesiątych polski rynek charakteryzował duży popyt konsumpcyjny. W aglomeracjach miejskich taka sytuacja spowodowała rozwój sklepów wielkopowierzchniowych [1]. Był on związany częściowo z korzystnymi przepisami podatkowymi, niskimi cenami zakupu lub dzierżawy nieruchomości, dostępnością wykwalifikowanej siły roboczej i dużym chłonnym rynkiem [1]. Liczba wielkopowierzchniowych obiektów handlowych w Polsce począwszy od 1990 roku stale rośnie. Podobna sytuacja dotyczy również całej Unii Europejskiej. Całkowita powierzchnia tego typu obiektów wzrosła o 3,3% w ciągu 12 miesięcy i pod koniec 2014 roku wynosiła blisko 153 mln m^2. Aktywność deweloperów w zakresie wznoszenia wielkopowierzchniowych obiektów handlowych w Polsce i Europie jest podyktowana popytem konsumentów. Obiekty te, oprócz podstawowej funkcji handlowej, oferują konsumentowi coraz więcej usług. Stają się swoistym centrum handlu, rozrywki i wypoczynku [2]. Wzrost liczby wielkopowierzchniowych obiektów handlowych w Polsce ma znaczny wpływ nie tylko na handel, ale również na rozwój budownictwa. Budowa obiektów wielkopowierzchniowych niesie ze sobą problem właściwej ochrony przeciwpożarowej osób i mienia. Nowoczesne obiekty handlowo-usługowe skupiają w swoim obszarze bardzo wielu użytkowników i funkcji. Muszą być zatem wznoszone ze szczególnym uwzględnieniem właściwej ochrony przeciwpożarowej. W wielu przypadkach projektowanie zabezpieczeń przeciwpożarowych tego rodzaju obiektów wymaga indywidualnego podejścia. Wynika to nie tylko z rozmiarów tych obiektów, ale także z problemu zaopatrzenia ich przez lokalny system dystrybucji wody w odpowiednią ilość wody przeznaczonej do gaszenia pożarów. Nowoczesne wielkopowierzchniowe obiekty handlowe są specyficznymi budynkami, nie tylko pod względem pełnionych przez nie funkcji, ale także ich powierzchni zabudowy, architektury, konstrukcji budynku, a nawet lokalizacji. Rozmiary obiektów powodują, że często są one zasilane w podstawowe media z więcej niż jednego źródła. Skomplikowana budowa architektoniczna, różnorodność funkcji obiektu, niekiedy zmienne obciążenie ogniowe budynku sprawiają, że poprawne zapro-

jektowanie stałego urządzenia gaśniczego wodnego jest niezwykle trudnym zadaniem. Ponadto stopień skomplikowania i rozmiary instalacji tryskaczowej generują różne problemy eksploatacyjne związane z zapewnieniem właściwego stanu technicznego urządzenia. W artykule podjęto próbę określenia czynników mających wpływ na utrzymanie właściwego stanu technicznego stałych urządzeń gaśniczych wodnych w aspekcie jakości wody zasilającej te urządzenia. Na podstawie badań stwierdzono, że woda wodociągowa zasilająca stałe urządzenia gaśnicze wodne może mieć wpływ na poziom bezpieczeństwa pożarowego wielkopowierzchniowych obiektów handlowych, nie tylko w aspekcie jej ilości czy dostawy, ale również w aspekcie utrzymania należytego stanu technicznego stałego urządzenia gaśniczego wodnego wbudowanego w budynek [3].

2. Metodologia

Do oceny parametrów wody zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne wbudowywane m.in. w wielkopowierzchniowe obiekty handlowe wykorzystano metodę stężeń charakterystycznych. Metoda ta polega na obliczaniu średniej arytmetycznej z najmniej korzystnych wyników badań w ciągu roku porównanych z obowiązującymi normami [4]. Pozwala ona określić średnią wartość stężenia ocenianego parametru w badanej wodzie. Metodę tę należy traktować jako uproszczoną metodę statystyczną [5]. Pomocniczo wykorzystano metodę bezpośrednią do oceny zmian stężeń wybranych parametrów w ciągu roku.

3. Wyniki

Określenie wszystkich parametrów, które mają wpływ na korodowanie instalacji tryskaczowej jest trudne i praktycznie na dzień dzisiejszy niemożliwe. Ponadto w literaturze krajowej i zagranicznej brakuje systematycznych badań wpływu jakości wody wodociągowej na stan techniczny urządzeń przeciwpożarowych zasilanych z systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę. W celu określenia istotnych parametrów mających wpływ na stan instalacji tryskaczowej zestawiono wyniki badań laboratoryjnych jakości wody wodociągowej produkowanej przez miejski zakład wodociągowy w Płocku z roku 2015. Wyniki uzyskano z comiesięcznych raportów o stanie jakości wody wodociągowej publikowanych na stronie internetowej miejskiego zakładu wodociągowego. Pozyskane wyniki uśredniono i zestawiono w tabeli 1 z uwzględnieniem wartości odchyłek mierzonych parametrów wody wodociągowej.

Aby ocenić jakość wody wodociągowej, spośród zaprezentowanych wyników badań opracowanych na podstawie raportów o stanie wody wodociągowej wybrano typowe parametry wpływające na jej korozyjny charakter oraz sprawdzono ich zmienność w czasie. Następnie porównano uzyskane średnie wyniki z wartościami parametrów wody pobranej z instalacji tryskaczowej.

Zmiany w czasie typowych parametrów wody wodociągowej ilustruje ryc. 1.

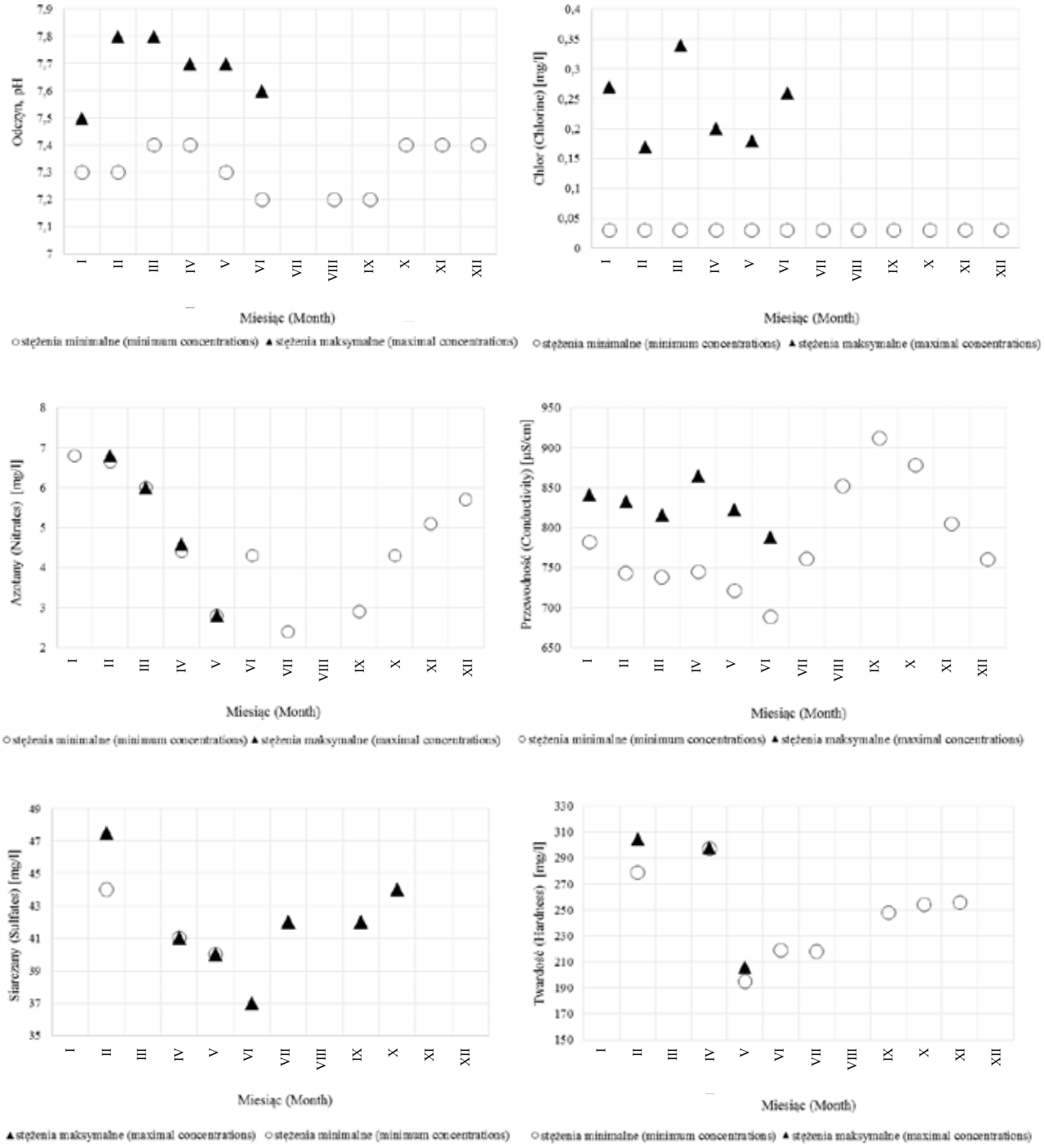
Tabela 1. Uśrednione parametry wody wodociągowej zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne
Table 1. Averaged parameters of tap water supplying fixed water firefighting equipment

Parametry (Parameters)	Średnie stężenia parametrów (Average concentration of parameters)		
	Minimalne (Minimal)	Maksymalne (Maximal)	Dopuszczalne [4] (Acceptable)
1,2-Dichloroetan, µg/l (1,2-dichloroethane, µg/l)	2	2	3
2,4,6-trichlorofenol, mg/l (2,4,6-trichlorophenol, mg/l)	0,0006	0,0006	0,2
Akryloamid, µg/l (Acrylamide, µg/l)	0,075	0,075	0,1
Antymon, µg/l (Antimony, µg/l)	1	1	5
Arsen, µg/l (Arsenic, µg/l)	1	1	10
Azotany, mg/l (Nitrates, mg/l)	4,95	5,05	50
Azotyny, mg/l (Nitrite, mg/l)	0,1	0,1	0,5
Barwa, mg Pt/l (Hue, mg Pt/l)	2	8,5	-
Benzen, µg/l (Benzene, µg/l)	0,5	0,5	1
Benzo(a)piren, µg/l (Benzo(a)pyrene, µg/l)	0,006	0,006	0,01
Bor, mg/l (Boron, mg/l)	0,3	0,32	1
Bromiany, µg/l (Bromate, µg/l)	8,16	9,53	10
Bromodichlorometan, mg/l (Bromodichloromethane, mg/l)	0,002	0,002	0,015
Chlor wolny, mg/l (Free chlorine, mg/l)	0,03	0,2367	0,3
Chloraminy, mg/l (Chloramine, mg/l)	0,0467	0,06	0,5
Chlorany, mg/l (Chlorates. mg/l)	0,023	0,0515	-
Chlorek winylu, µg/l (Vinyl chloride, µg/l)	0,2	0,2	0,5
Chlorki, mg/l (Chlorides, mg/l)	74,667	75,33	250
Chloryny, mg/l (Chlorates, mg/l)	0,1583	0,252	-
Chrom, µg/l (Chrome, µg/l)	4	4	50
Cyjanki, µg/l (Cyanides, µg/l)	15	15	50
Epichlorohydryna, µg/l (Epichlorohydrin, µg/l)	0,06	0,06	0,1

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.16

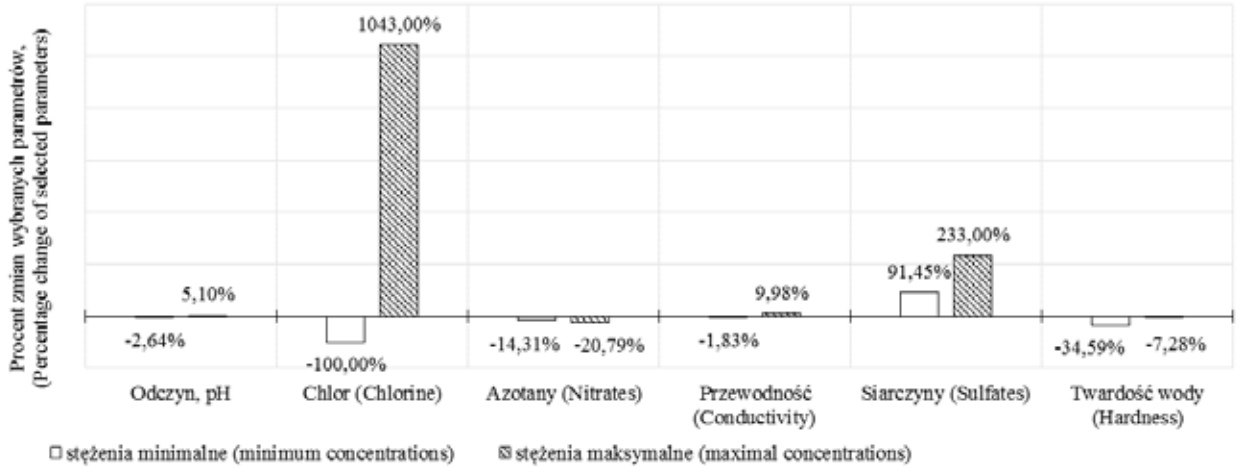
Parametry (Parameters)	Średnie stężenia parametrów (Average concentration of parameters)		
	Minimalne (Minimal)	Maksymalne (Maximal)	Dopuszczalne [4] (Acceptable)
Fluorki, mg/l (Fluorides, mg/l)	0,323	0,333	1,5
Formaldehyd, mg/l (Formaldehyde, mg/l)	0,011	0,011	0,05
Fosfor, mg/l P2O5 (Phosphorus, mg/l P2O5)	0,075	0,075	-
Ftalan dibutylu, mg/l (Dibutyl phthalate, mg/l)	0,0008	0,0008	0,02
Glin, µg/l (Aluminium, µg/l)	60	60	200
Jon amonowy, mg/l (Ammonium, mg/l)	0,05	0,05	0,5
Kadm, µg/l (Cadmium, µg/l)	0,3	0,3	5
Magnez, mg/l (Magnesium, mg/l)	11,67	14	125
Mangan, µg/l (Manganese, µg/l)	10	10	50
Mętność, NTU (Turbidity, NTU)	0,22	1,1	1
Miedź, mg/l (Copper, mg/l)	0,002	0,0035	2
Nikiel, µg/l (Nickel, µg/l)	5	5	20
Odczyn, pH (pH)	7,34	7,69	6,5-9,5
Ogólny węgiel organiczny, mg/l (Total organic carbon, mg/l)	2,88	3,85	-
Ołów, µg/l (Lead, µg/l)	4	4	25
Ozon, mg/l (Ozone, mg/l)	0,05	0,05	0,05
Pestycydy – suma, µg/l (Total pesticides, µg/l)	0,4	0,4	0,5
Przewodność, µS/cm (Conductivity, µS/cm)	733	827	2500
Rtęć, µg/l (Mercury, µg/l)	0,05	0,05	1
Σ Wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, µg/l (Σ polycyclic aromatic hydrocarbons, µg/l)	0,024	0,024	0,1
Σ chloranów i chlorynów, mg/l (Σ chlorate and chlorite, mg/l)	0,19167	0,28667	0,7
Σ Trichloroetenu i tetrachloroetenu, µg/l (Σ trichlorethylene and tetrachloroethene, µg/l)	2	2	10
Selen, µg/l (Selenium, µg/l)	2	2	10
Siarczany, mg/l (Sulfureous, mg/l)	41	41	250
Sód, mg/l (Sodium, mg/l)	75	78	200
Srebro, mg/l (Silver, mg/l)	0,002	0,002	0,01
Suma THM, µg/l (The sum of THM, µg/l)	5,67	7	100
Tryt, Bq/l (Tritium, Bq/l)	40	40	100
Twardość, mg/l CaCO3 (Hardness, mg/l CaCO3)	264,33	269,67	60-500
Utlenialność, mg/l (Oxidisability, mg/l)	1,0417	1,8667	5
Żelazo ogólne, µg/l (Iron general, µg/l)	20	151	200

Źródło: Opracowanie własne na podstawie raportów o stanie jakości wody wodociągowej miejskiego zakładu wodociągowego w Płocku za rok 2015.
Source: Own elaboration based on the reports on the tap water quality of water supply company in Plock for 2015.



Ryc. 1. Zmiany wybranych parametrów wody w okresie prowadzenia badań (rok 2015)
Fig. 1. Changes of selected parameters of water during the test period (year 2015)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.16



Ryc. 2. Różnice w wartościach badanych parametrów po wprowadzeniu wody wodociągowej do instalacji tryskaczowej
Fig. 2. The differences in values of tested parameters once tap water was supplied to the sprinkler system
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

W dalszej analizie porównano procentowe zmiany maksymalnych i minimalnych wartości wybranych parametrów wody wodociągowej z wynikami badań wody pobranej z instalacji tryskaczowej z dwóch wielkopowierzchniowych obiektów handlowych zlokalizowanych w różnych miejscach, przyłączonych do tego samego systemu zbiorowego zaopatrzenia w wodę. Różnice w wartościach badanych parametrów między wodą wodociągową a wodą pobraną z instalacji tryskaczowej przedstawiono na ryc. 2.

4. Dyskusja nad wynikami

4.1. Problemy eksploatacyjne

W procesie eksploatacyjnym instalacji tryskaczowych zasilanych wodą z systemu dystrybucji zbiorowego zaopatrzenia w wodę mogą zachodzić niekorzystne procesy, takie jak korozja, zarastanie osadami i ich wytrącanie lub powstawanie biofilmu w samej instalacji i jej uzbrojeniu. Stąd też niezbędne staje się określenie parametrów fizyczno-chemicznych wody z systemu dystrybucji, które mogą mieć bezpośredni wpływ na stan techniczny wbudowanych w obiekty budowalne stałych urządzeń gaśniczych wodnych [3].

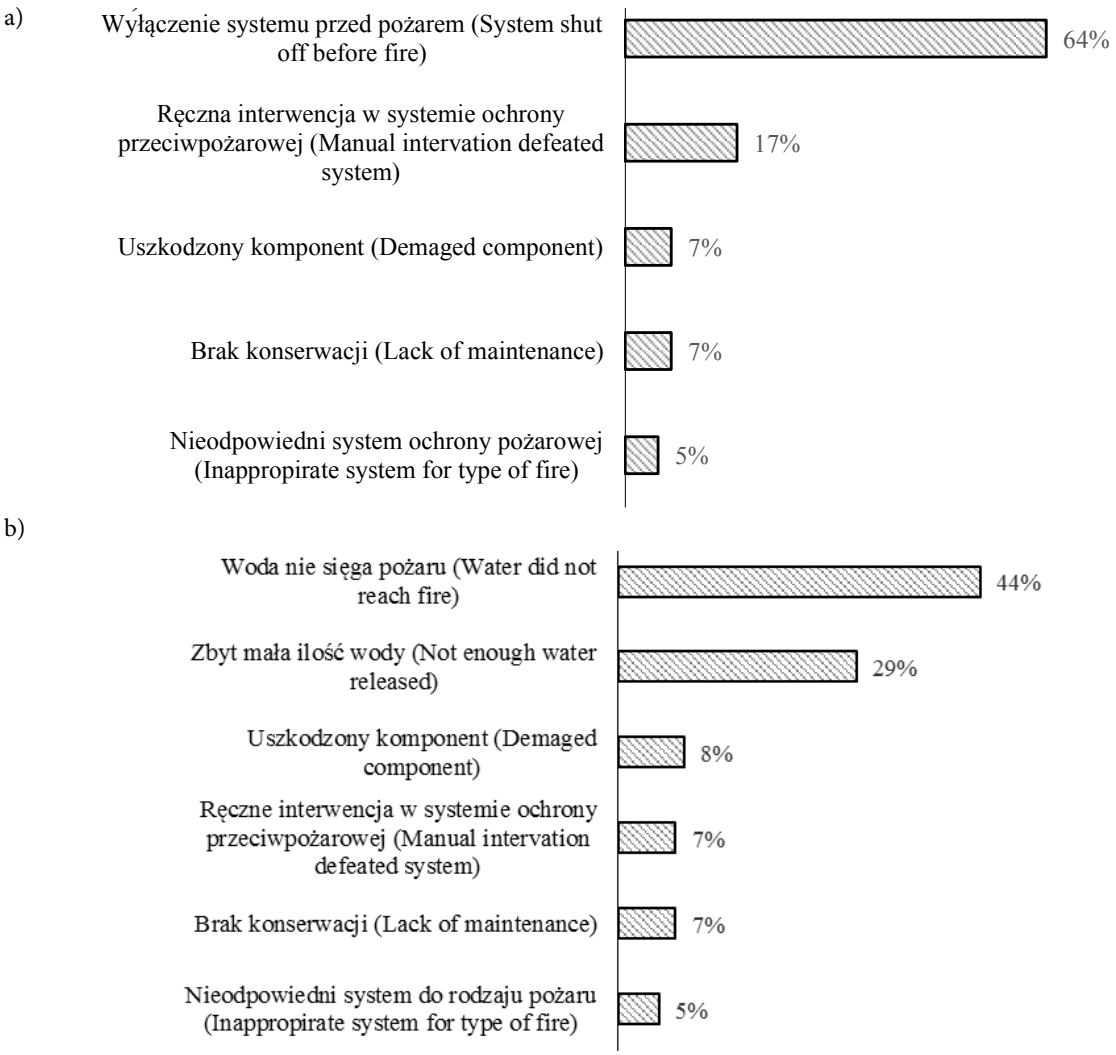
Najczęstsze powody niezadziałania oraz nieprawidłowego działania instalacji tryskaczowej przedstawiono na ryc. 3.

Na podstawie zaprezentowanych danych można zauważyć, że niewłaściwa eksploatacja stałych urządzeń gaśniczych wodnych to jedynie 7% przyczyn niezadziałania systemu w razie zaistnienia pożaru. Zdecydowanie więcej, bo aż 17%, stanowią błędy ludzkie, np. omyłkowe uruchomienie instalacji przed jej automatycznym załączeniem. Niepokojące natomiast mogą być dane zaprezentowane w części b ryciny 3. 73% wszystkich przyczyn niewłaściwej pracy systemu dotyczy wody. Najczęściej są nimi zbyt mała ilość wody i niewystarczający zasięg samych zraszaczy. Nasuwa to podejrzenie, że w systemie przewodów analizowanych urządzeń gaśniczych zaistniały procesy, które mogły spowodować zmniejszenie wydajności samego tryskacza. Takie przypadki negatywnego wpływu jakości wody na stan przewodów instalacyjnych są znane. Niestabilna chemicznie woda wykazuje właściwości do tworzenia powłok ochronnych (wytrącania wodorotlenków żelaza, manganu, powstawania osadów węglanu wapnia). Prowadzi to do zarastania przewodów (zmniejszenia przekroju poprzecznego), tym samym całkowitej zmiany warunków hydraulicznych pracy stałego urządzenia gaśniczego wodnego. Ponadto woda działająca agresywnie na ścianki przewodów instalacji tryskaczowych może przyczyniać się do powstawania w nich licznych produktów korozji, które mogą ograniczać wydajność tych instalacji.

4.2. Woda w systemach zbiorowej dystrybucji

Woda zasilająca stałe urządzenia gaśnicze wodne najczęściej jest dostarczana z systemów zbiorowego zaopatrzenia w wodę, w których poddawana jest różnorodnym procesom technologicznym oczyszczania. Jakość wody wodociągowej jest stale monitorowana i ściśle określona odpowiednim rozporządzeniem. Woda jest bezpieczna dla zdrowia ludzkiego, jeżeli nie zawiera mikroorganizmów chorobotwórczych i pasożytów w liczbie stanowiącej potencjalne zagrożenie dla zdrowia człowieka, wszelkich substancji w stężeniach stanowiących potencjalne zagrożenie dla zdrowia ludzkiego oraz nie ma agresywnych własności korozyjnych [4].

Jedną z najważniejszych właściwości eksploatacyjnych wody jest jej korozyjność, której skutkiem może być niszczenie instalacji lub ograniczanie jej wydajności. Korozja instalacji zasilanych wodą wodociągową jest nieunikniona, lecz może zostać spowolniona lub ograniczona. Obecnie w Polsce wielu badaczy [8-10] podejmuje temat ochrony przewodów instalacyjnych przed korozją. Do tej pory nie opracowano jednak skutecznej metody. Przyczyną tej sytuacji jest złożoność zjawiska korozji przewodów instalacyjnych, która zależy od bardzo wielu czynników. Oczywiście korozja przewodów instalacyjnych dotyczy przewodów wykonanych ze stali i stali ocynkowanej. Obecnie z tego materiału wykonuje się głównie elementy stałych urządzeń gaśniczych wodnych wbudowanych w budynki. Proces korodowania przewodów stalowych prowadzi nie tylko do zwiększenia prawdopodobieństwa wystąpienia awarii, lecz w przypadku instalacji tryskaczowej, może prowadzić pośrednio do uszczerbku na zdrowiu lub utraty życia osób korzystających z budynków, w których tego rodzaju urządzenia przeciwpożarowe są zamontowane. Należy pamiętać, że stałe urządzenia gaśnicze wodne nie są projektowane do walki z ogniem, lecz do zapobiegania rozprzestrzenianiu się pożaru oraz wydłużenia bezpiecznej ewakuacji osób z budynku. Dlatego niezawodne działanie tych urządzeń jest bardzo istotne. W związku z powyższym, w opinii autorów, należy określić czynniki koro-



Ryc. 3. Udział procentowy przyczyn niezadziałania instalacji tryskaczowej: a) przyczyny niezadziałania instalacji tryskaczowej, b) przyczyny, które uniemożliwiły prawidłowe działanie instalacji tryskaczowej [6-7]
Fig. 3. Percentage contribution of the reasons of the sprinkler system not responding: a) reasons why the sprinkler system did not work, b) causes which prevented proper operation of the sprinkler system [6-7]

zyjne będące składnikami wody zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne.

4.3. Korozyjne parametry wody

Skłonność materiału instalacji tryskaczowej do korodowania można uznać za pierwszy czynnik mający wpływ na stan techniczny stałych urządzeń gaśniczych wodnych. Drugim czynnikiem jest skład chemiczny wody. Pomimo że skład chemiczny wody jest regulowany odpowiednimi przepisami prawa i normami, ze względu na dynamikę procesów biologiczno-chemicznych zachodzących w wodzie, technologię uzdatniania wody, wpływu samego systemu dystrybucji wody (rodzajów przewodów, układu wodociągowego, prędkości przepływu cieczy, nierównomierności rozbiorów wody), w niektórych przypadkach można mówić o agresywnym oddziaływaniu wody wodociągowej na przewody i wyposażenie stałego wodnego urządzenia gaśniczego. W wodzie pitnej na potrzeby systemów jej zbiorowej dystrybucji nieustannie zachodzą dynamiczne procesy kształtujące jej końcową jakość. O ile produkowana woda jest bezpieczna dla człowieka, to w niektórych sytuacjach przy zaistnieniu pewnych warunków (długi czas stagnacji wody w przewodach, zmiany temperatury, czy oddziaływanie mikroorganizmów) może ona wykazywać agresywne działanie na przewody instalacji tryskaczowych.

Wyniki przedstawione w tabeli 1 nie dają jednoznacznej odpowiedzi o korozyjnym charakterze wody. Dlatego do dalszej analizy wybrano te, które są najczęściej wymieniane również przez innych badaczy, a mianowicie:

1. Zawartość związków mineralnych. Wzrost ich wartości może podwyższyć tempo korozji przewodów poprzez zwiększanie przewodnictwa właściwego, a ponadto może rozpuszczać wytrącone osady. Im wyższa mineralizacja, tym bardziej sprzyjające warunki dla reakcji elektrochemicznych. Dodatkowo duża zawartość jonów chlorkowych może powodować korozję wżerową.
2. Odczyn wody. Im niższy odczyn wody, tym bardziej korozyjny charakter wody. Przy pH w zakresie od 6,5 do 9,5 najczęściej może występować korozja wżerowa.
3. Twardość wody. Jest to jeden z głównych parametrów decydujących o korozyjnym charakterze wody. Największe właściwości korozyjne mają wody miękkie. W wodach o niskiej twardości węglanowej obecny jest agresywny dwutlenek węgla, który rozpuszcza warstwy ochronne i produkty korozji;
4. Mikroorganizmy. Ich obecność w przewodach instalacji zasilanych wodą wodociągową sprzyja rozwojowi korozji.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.16

Ilość mikroorganizmów zależy od użytego środka dezynfekującego oraz zawartości żelaza, siarczków, amoniaku i związków organicznych.

Wyżej wymienione parametry wody według wielu badaczy z pewnością przyczyniają się do powstawania korozji przewodów instalacji zasilanych wodą wodociągową [3], [8-9]. Jednakże na korozyjny charakter wody mogą mieć też wpływ inne czynniki, takie jak [10]:

1. Temperatura wody – im wyższa temperatura, tym większa podatność na powstawanie korozji wżerowej [11].
2. Właściwości mechaniczne przewodów stalowych użytych do budowy stałego urządzenia gaśniczego wodnego, takie jak chropowatość (która jest czynnikiem sprzyjającym niszczeniu wewnętrznych powierzchni przewodu). Niejednorodna powierzchnia wewnętrzna przewodów stalowych jest bardziej podatna na tworzenie się lokalnych ognisk korozji.
3. Dokładność wykonawstwa. Jest to z reguły pomijany czynnik, lecz w przypadku instalacji wykonywanych ze stali, a takimi są instalacje tryskaczowe, niezwykle istotny. Zastosowanie niewłaściwych chłodziw, nierozpuszczalnych w wodzie, podczas wykonywania połączeń gwintowanych instalacji może przyspieszać korozję przewodów instalacji tryskaczowych.
4. Czas postoju to kolejny czynnik, który może mieć wpływ na korozyjny charakter wody wobec przewodów instalacji tryskaczowych. W instalacjach tego rodzaju, zgromadzona woda pozostaje w instalacji przez dłuższy czas, co może wpływać na rozwój biofilmu i może przyspieszać proces korozji.

Powyższy krótki przegląd problemu uzmysławia jego istotność w aspekcie niezawodnego działania instalacji tryskaczowych.

4.4. Zmienność wybranych parametrów wody

Na podstawie wyników zaprezentowanych na ryc. 1 można zauważyć okresową zmianę wybranych parametrów wody wodociągowej. Sytuacja ta wynika z tego, że woda wodociągowa w rozpatrywanym systemie dystrybucji pobierana jest z dwóch źródeł: wód powierzchniowych oraz wód głębinowych. Następnie woda zostaje wymieszana i poddana procesowi uzdatniania. W okresie letnim odnotowuje się niewielki spadek wartości odczynu, natomiast wyraźnie wzrasta przewodność. Może to sugerować większą zawartość substancji rozpuszczonych w analizowanej wodzie. Zauważyć można również, że nie wszystkie parametry były badane co miesiąc.

Na podstawie danych zaprezentowanych na ryc. 2 widać, że skład chemiczny wody wodociągowej po wprowadzeniu do systemu przewodów instalacji tryskaczowej zmienia się. Zauważalny jest spadek odczynu wody, twardości i zawartości azotanów, rośnie natomiast przewodność wody oraz zawartość siarczanów. Spadek odczynu wody oraz twardości węglanowej wody może wskazywać na korozyjny charakter wody w przewodach instalacji tryskaczowej. Nie są to jednak jedyne wskaźniki świadczące o korozyjności wody wodociągowej. Niezbędna jest też znajomość parametrów, takich jak: stężenie chlorków oraz siarczanów. Stale zachodzące procesy biochemiczne w wodzie zmieniają jej parametry, w prezentowanym przypadku na nieznacznie gorsze.

5. Podsumowanie i wnioski

W artykule podjęto próbę oceny jakości wody zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne ze zbiorowego systemu zaopatrzenia, jakim jest miejska sieć wodociągowa. Omówiono i zidentyfikowano główne parametry wody mogące mieć wpływ na korozyjny charakter wody wodociągowej na przewody instalacji tryskaczowej. W dalszych badaniach powinna być podjęta próba weryfikacji wpływu jakości wody na korozyjność wobec przewodów instalacji tryskaczowej. W tym celu niezbędne jest wyznaczenie wartości typowych indeksów opisujących korozyjny charakter wody, takich jak: indeks Langeliera, Ryznara i w szczególności Larsona-Skolda. W zaprezentowanych wynikach stwierdzono znaczną zmianę parametrów wody zasilającej po wprowadzeniu jej do instalacji tryskaczowej. Stanowią one podstawę do opracowania metody eksploatacji stałych wodnych urządzeń gaśniczych, która pozwalałaby na monitorowanie szybkości korozji lub jej znaczące ograniczenie. Wprowadzona woda zasilająca zmienia swoje parametry pod wpływem wielu czynników i pomimo że w sieci wodociągowej może nie wykazywać korozyjnego charakteru, to może je wykazywać w obrębie stałych urządzeń gaśniczych wodnych. Obecnie istniejące metody eksploatacji tego typu urządzeń mogą nie zapewnić właściwego utrzymania stanu technicznego urządzeń, a w przyszłości mogą wpływać na skuteczność ich działania w razie wystąpienia pożaru. Konieczne są dalsze badania nad poszukiwaniem parametrów lub parametru wody, który jednoznacznie mógłby wskazywać korozyjny charakter wody, np. indeks Larsona-Skolda. Jednocześnie z eksploatacyjnego punktu widzenia parametr ten musi charakteryzować się prostotą pomiaru i znaczącą miarodajnością. Wzajemne porównanie parametrów wody wodociągowej oraz wody wypełniającej przewody instalacji tryskaczowej pozwoli określić, jakie czynniki mogą mieć najważniejszy wpływ na skuteczność działania stałych wodnych urządzeń gaśniczych. Pozwoli to na zebranie dostatecznej ilości informacji naukowej mającej charakter poznawczy. Dzięki podjęciu odpowiednich działań na podstawie przeprowadzonych badań w przyszłości możliwe będzie zapewnienie niezawodnego i skutecznego działania instalacji tryskaczowych.

Literatura

[1] Wrzesińska J., *Rozwój wielkopowierzchniowych obiektów handlowych w Polsce*, „EIOGZ" 2008, 72, 161.

[2] European Shopping Development Report, Cushman & Wakefield, April 2015.

[3] Serejko G., Denczew S., *O potrzebie badania jakości wody zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne*, „Ochrona Przeciwpożarowa" 2014, (50)4, 18-20.

[4] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 13 listopada 2015 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. 2015, poz. 1989).

[5] Loga M., Nawalany M., A*naliza dostępnych danych pomiarowych i aktualnych metod statystycznych oraz potrzeb WIOŚ w zakresie metod statystycznych,* Raport A-1, WIOŚ Kraków, Warszawa 2009.

[6] Hall J.R., Jr., *Report: NFPA's "U.S. Experience with Sprinklers"*, June 2013.

[7] Leong Poon, *Assessing the reliance of sprinklers for active protection of structures,* "Procedia Engineering", 2013, 62, 618-628.

[8] Kucharski M., *Analiza zmian ilości ubocznych produktów chlorowania i ozonowania w wodzie wodociągowej w Białymstoku*, „Ochrona Środowiska" 2011, 33(3).

[9] Kowal A. L., *Ochrona sieci wodociągowej przed korozją i zarastaniem*, „Ochrona Środowiska" 1997, 67(4).

[10] Fiertak M., Dębska D., *Przyczyny korozji ocynkowanych rur stalowych stosowanych w systemach rozprowadzania i magazynowania wody*, „Przegląd budowlany" 2012, 6, 23-26.

[11] PN-EN 12502-3:2006 Ochrona materiałów metalowych przed korozją. Wytyczne do oceny ryzyka wystąpienia korozji w systemach rozprowadzania i magazynowania wody. Część 3: Czynniki oddziałujące na materiały żelazne ocynkowane zanurzeniowo.

* * *

prof. dr hab. inż. Sławczo Denczew – polski naukowiec, profesor zwyczajny Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, profesor nadzwyczajny Politechniki Warszawskiej Filia w Płocku. Był naczelnym inżynierem oraz dwukrotnie pełniącym obowiązki dyrektora naczelnego (1992, 2001–2003) Miejskiego Przedsiębiorstwa Wodociągów i Kanalizacji w m.st. Warszawie. Jest specjalistą z zakresu wodociągów i kanalizacji, przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz organizacji i zarządzania infrastrukturą komunalną, w szczególności sektorem wodociągów i kanalizacji w sytuacjach kryzysowych.

mgr inż. Grzegorz Serejko – absolwent Wydziału Inżynierii Środowiska Politechniki Warszawskiej (kierunek inżynieria środowiska). Od 2008 roku pracownik naukowo-dydaktyczny Politechniki Warszawskiej w filii w Płocku. Zatrudniony na stanowisku asystenta. Obecnie doktorant prof. dr. hab. inż. Sławczo Denczewa. Prowadzi badania dotyczące wpływu jakości wody zasilającej stałe urządzenia gaśnicze wodne na sprawność i skuteczność ich działania. Obszar zainteresowań naukowych obejmuje szeroko rozumianą inżynierię środowiska, fizykę budowli oraz przeciwpożarowe zaopatrzenie w wodę.

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.17

st. bryg. w st. spocz. dr inż. **Sylwester Kieliszek**[1]
mł. bryg. dr inż. **Tomasz Drzymała**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Wybrane problemy zasilania w wodę instalacji wodociągowych przeciwpożarowych w wysokich budynkach mieszkalnych[2]

Selected Problems of Water Supply Systems for Firefighting Purposes in High Residential Buildings

Некоторые проблемы водного обеспечения систем пожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie ważnych problemów związanych z zasilaniem w wodę instalacji wodociągowych przeciwpożarowych w wysokich budynkach mieszkalnych. Szczególną uwagę zwrócono na kwestię dostosowania instalacji w budynkach istniejących do wymagań zawartych w obowiązujących przepisach oraz na występujące w tych przepisach rozbieżności.
Metody: Artykuł opracowano w oparciu o porównanie wymagań dotyczących instalacji wodociągowej w wysokich budynkach mieszkalnych zawartych w przepisach i polskich normach. Porównania dokonano na tle zmian w ujęciu historycznym. Wykorzystano informacje statystyczne na temat zużycia wody do gaszenia pożarów w omawianych budynkach.
Wyniki: W celu zapewnienia w wysokich budynkach mieszkalnych możliwości prowadzenia skutecznych działań gaśniczych przez straż pożarną wyposaża się je w nawodnioną instalację wodociągową przeciwpożarową z zaworami hydrantowymi 52. Obowiązujące przepisy zwierają wysokie wymagania w zakresie wydajności tej instalacji i sposobu jej zasilania. Jednak z danych statystycznych wynika, że zużycie wody do gaszenia pożarów w budynkach mieszkalnych jest niewielkie. Niejednokrotnie zaś dostosowanie istniejących instalacji do wymagań zawartych w przepisach nie jest możliwe. Co więcej, zdaniem autorów, niektóre zapisy zawarte w przepisach wzajemnie się wykluczają.
Wnioski: Analiza danych statystycznych wykazała potrzebę weryfikacji wysokich wymagań odnośnie wydajności instalacji wodociągowych w wysokich budynkach mieszkalnych. Nawet przy utrzymaniu obowiązujących wymagań odnośnie wydajności instalacji, stosowanie pionów o średnicy co najmniej DN 80 nie znajduje uzasadnienia oraz powoduje zwiększenie kosztów inwestycji. Zapisy zawarte w Rozporządzeniu Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2010 r., nr 109, poz. 719) jednoznacznie wskazują przypadki, w których konieczne jest zasilanie instalacji z dwóch źródeł, z których jednym jest sieć wodociągowa, a drugim pompy straży pożarnej. Rozwiązanie to jest właściwe przy zasilaniu z sieci przez zbiornik otwarty. Należy je jednak uznać za nieprawidłowe przy bezpośrednim zasilaniu z sieci. Wskazana jest nowelizacja przywołanego powyżej rozporządzenia w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, w części dotyczącej instalacji wodociągowych w wysokich budynkach mieszkalnych, w szczególności w celu ujednolicenia zawartych w nim zapisów z wymaganiami polskich norm.

Słowa kluczowe: instalacje wodociągowe, budynki mieszkalne, systemy gaśnicze, ochrona przeciwpożarowa
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Objectives: The objective of this paper is to present important problems related to supplying water to firefighting systems in high residential buildings. The article specially focuses on the adjustment of water supply systems in the existing high residential building to the requirements provided by the applicable regulations, as well as discrepancies contained in these regulations.
Methods: This paper has been developed based on the comparison of the requirements for firefighting water supply systems in high residential buildings included in legal acts and Polish standards. The comparison was made with regard to the changes in the regulations from a historical perspective. Statistical information on water consumption for firefighting purposes in these buildings was used.
Results: Equipping high residential buildings in a firefighting water supply system with a hydrant valve 52 is to ensure effective firefighting by the fire brigade. The applicable regulations include strict requirements with regard to system capacity and method of supply. Statistical data on water consumption for firefighting purposes in residential buildings shows that the consumption is insignificant. Adjustment of the system to the requirements contained in the regulations is often impossible. It seems that some of the provisions in the regulations are mutually exclusive.

[1] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service, Poland; skieliszek@sgsp.edu.pl
[2] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.17

Conclusion: Statistical data on water consumption for firefighting purposes in high residential buildings indicates insignificant water consumption. It can be concluded from the above that the analysis of strict requirements on the capacity of the water supply system is recommended. Even while maintaining the existing requirements with regard to the capacity, it is not justified to use risers with a diameter of at least DN 80; it the costs of the investment to rise. The provisions contained in The Regulation of 7 June 2010 of the Minister of Internal Affairs and Administration on fire protection of buildings, other building faciliteis and sites (Polish Journal of Laws, Dz. U. z 2010 r., nr 109, poz. 719) univocally indicate cases where it is necessary to supply water to the system from two sources, one from the water supply network and the second from the fire brigade pumps. Such a solution is correct when the system is supplied in water from an open tank; however it must be regarded as irregular when water is supplied directly from the network. It is recommended to amend the regulation mentioned above on fire protection of buildings, other building faciliteis and sites, in the section related to water supply systems in high residential buildings, especially in order to unify the contained requirements with the ones provided by the Polish standards.

Key words: water supply systems, residential buildings, firefighting systems, fire protection
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель статьи – представить основные проблемы, связанные с водным обеспечением систем пожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях. Особое внимание было уделено адаптированию систем в уже построенных зданиях к требованиям действующих законов, а также некоторым расхождениям в этих правилах.
Методы: Статья была разработана на основе сравнения требований к системам пожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях, указанных в законах и польских стандартах. Сравнение было сделано на фоне изменений в исторической перспективе. Использованы также статистические данные о потреблении воды для тушения пожаров в этих зданиях.
Результаты: Высокие жилые здания оснащены пожарными системами водоснабжения с установленными клапанами пожарных кранов 52 для обеспечения эффективного тушения пожаров пожарной службой. Действующие правила содержат высокие требования к эффективности этой системы и способа ее снабжения. В то же время согласно статистическим данным потребление воды для тушения пожаров в жилых зданиях - небольшое. Часто адаптирование имеющихся систем к требованиям, содержащимся в нормативных документах, не представляется возможным. Кроме того, по мнению авторов, некоторые из положений, содержащихся в них, взаимно исключают друг друга.
Выводы: Анализ статистических данных позволил определить необходимость верификации жестких требований относительно эффективности систем водоснабжения в высоких жилых зданиях. Даже при сохранении существующих требований к эффективности системы, применение стояков диаметром не менее DN 80 не имеет обоснования, а также увеличивает стоимость инвестиций. Положения, содержащиеся в Распоряжении Министра внутренних дел и администрации от 7 июня 2010 года по противопожарной защите зданий, других строительных объектов и территорий (Дневник Законов 2010, п. 109, поз. 719) однозначно указывают на случаи, когда необходимо снабжать систему водой из двух источников, одним из которых является сеть водоснабжения, а вторым – пожарный насос. Это решение подходит, если система подключена к открытому резервуару. Но оно не должно применяться при прямом снабжении от сети. Существует необходимость внесения поправок в вышеуказанное распоряжение о противопожарной защите зданий, других строительных объектов и территорий, в части, касающейся систем водоснабжения в высоких жилых зданиях, в частности, с целью согласования его положений с требованиями польских стандартов.

Ключевые слова: системы водоснабжения, жилые здания, гасящие системы, пожарная охрана
Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Budynki wysokie powinny być wyposażone w instalację wodociągową przeciwpożarową z zaworami hydrantowymi 52 oraz hydrantami wewnętrznymi 25 z wężem półsztywnym. Instalacja powinna umożliwiać pobór wody z czterech zaworów hydrantowych 52, położonych najniekorzystniej pod względem hydraulicznym (4 x 2,5 dm^3/s). Wyjątek stanowią budynki wysokie z jedną klatką schodową (tzn. o powierzchni rzutu co najwyżej 750 m^2).

Powszechnie uznaje się, że instalowane w budynkach wysokich hydranty 25 są przeznaczone dla użytkowników budynku, zaś zawory hydrantowe 52 dla straży pożarnej. Oznacza to, że obowiązkowe zawory hydrantowe 52 mają ułatwiać służbom prowadzenie działań gaśniczych. Wskazuje na to także sposób zasilania instalacji, który nie zakłada użycia pomp straży pożarnej.

W wysokich budynkach mieszkalnych istnieje obowiązek instalowania zaworów hydrantowych 52, zgodnie z zasadami określonymi w rozporządzeniu [1]. Z powyższego wynika, że ustawodawca nie zakłada w takich budynkach sytuacji gaszenia pożaru przez jego użytkowników. W większości budynków wysokich i wysokościowych wymagane jest zasilanie instalacji wodociągowej przeciwpożarowej ze zbiornika zapasu. W odniesieniu do budynków mieszkalnych zapewnienie zbiornika zapasu wydaje się dyskusyjne, ponieważ z danych statystycznych dotyczących zużycia wody do gaszenia pożarów w budynkach mieszkalnych wynika, że im wyższy jest budynek, tym mniej wody zużywa się do ugaszenia w nim pożaru. Powyższe można uzasadnić m.in. wyższą klasą odporności pożarowej budynków wysokich. Istotnym zagadnieniem jest zapewnienie wymaganej wydajności instalacji. Obowiązujące standardy wydają się zawyżone w świetle zalecanej intensywności podawania wody, która dla budynków mieszkalnych wynosi około 0,1 $dm^3/(m^2/s)$.

2. Problemy wynikające ze zmian w przepisach

Ciśnienie w sieci wodociągowej, z której zasilane są instalacje wodociągowe w budynkach, nie powinno przekraczać 0,6 MPa, ponieważ jest to wartość ciśnienia roboczego przyborów sanitarnych. Podstawą do zaprojektowania instalacji, w tym przeciwpożarowej, jest informacja o gwarantowanych wartościach ciśnienia przy wymaganym wydatku, uzyskana z lokalnych wodociągów. Jeżeli instalacja wodociągowa przeciwpożarowa w budynku nie jest wydzielona i ciśnienie w sieci nie zapewnia wymaganych parametrów dla najniekorzystniej położonych hydrantów, do podniesienia ciśnienia stosuje się układy hydroforowo-pompowe zasilane bezpośrednio z sieci. W praktyce układy hydroforowo-pompowe do podnoszenia ciśnienia stosuje się w większości budynków. Zawory antyskażeniowe używane są jedynie na przyłączach wodociągowych po stronie instalacji.

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 195–198
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.17

Według pkt. 2.5 normy [2] w budynkach o niewielkiej wysokości, zasilanych bezpośrednio z sieci wodociągowej, w których wymaga się umieszczenia hydrantów wewnętrznych, dopuszczalne jest, aby instalacja przeciwpożarowa wodna była połączona z instalacją doprowadzającą wodę na cele bytowo-gospodarcze. Przed najdalej i najwyżej położonym hydrantem lub zaworem hydrantowym zapewnione musi być wymagane ciśnienie, które wynosi 0,2 MPa. Ważny jest fakt, że za wymagane ciśnienie w tych budynkach odpowiada sieć wodociągowa. Jest to wystarczający powód, aby rozwiązanie to nie mogło być zastosowane w budynkach wysokich.

W rozporządzeniu przyjęto ogólne zasady kwalifikacji budynków mieszkalnych do grup wysokości. Budynki mieszkalne o wysokości 10 – 18 kondygnacji nadziemnych są budynkami wysokimi. Przed wprowadzeniem rozporządzenia [3], w budynkach wysokich wymagane było stosowanie tzw. suchych pionów wg [4] (w budynkach o wysokości 25–55 m). Piony te były zasilane pompami straży pożarnej. Ze stosowania suchych pionów zrezygnowano, nie tylko w odniesieniu do budynków mieszkalnych. Uznano, że suche piony stanowią instalację narażoną na dewastację. Nie gwarantowały dostarczenia wody do miejsca pożaru. Istniało także duże ryzyko zalania budynku. W rozporządzeniu [3] ujednolicono wymagania dla instalacji wodociągowej przeciwpożarowej w budynkach wysokich. Zapisy dotyczące budynków wysokich zostały utrzymane w znowelizowanym rozporządzeniu [5] niemal w niezmienionej formie. Prawdopodobnie aby zapobiec sytuacji częstego występowania o rozwiązania zamienne, w rozporządzeniu [1] określono przypadki, w których możliwe jest stosowanie zbiorników zapasu o różnych pojemnościach. Dopuszczono również zasilanie instalacji wodociągowej przeciwpożarowej w budynkach mieszkalnych wysokich bezpośrednio z sieci wodociągowej przeciwpożarowej, jeżeli wydajność tej sieci wynosi nie mniej niż 10 dm^3/s (§ 24, ust. 4; rozporządzenia [1]).

3. Dostosowanie wysokich budynków mieszkalnych do obecnie obowiązujących wymagań

Dostosowanie wysokich budynków mieszkalnych do obowiązujących wymagań zawsze wiązało się z utrudnieniami, przede wszystkim technicznymi i finansowymi. W związku z tym zaczęto przeprowadzać liczne ekspertyzy techniczne, których celem było uzgodnienie rozwiązań zamiennych, wynikających z braku możliwości wykonania zbiornika zapasu o wymaganej pojemności. Liczba wykonywanych ekspertyz jednoznacznie wskazywała na wady przyjętego rozwiązania.

Na terenie województwa mazowieckiego wypracowany został standard rozwiązań zamiennych polegający na wykonaniu w budynku instalacji nawodnionej, zasilanej ze zbiornika otwartego o pojemności 6 m^3, z którego woda była tłoczona przez pompy przeznaczone wyłącznie do zasilania instalacji przeciwpożarowej. Dodatkowo instalacja mogła być zasilana pompami straży pożarnej dzięki wyprowadzeniu na zewnątrz budynku rury tłocznej zakończonej nasadą 75 T. Opisane rozwiązanie jest zgodne z przepisami, tzn. zapewnia wymaganą przerwę powietrzną. W rozporządzeniu [1] określono warunki, w których możliwe jest stosowanie zbiorników zapasu o różnych pojemnościach lub zasilanie bezpośrednio z sieci. W dalszej części artykułu przeanalizowano dopuszczalność rozwiązań zaproponowanych w przepisach przeciwpożarowych.

Zgodnie z PN-92/B-01706 [2] niedopuszczalne jest bezpośrednie połączenie instalacji wodociągowej zasilanej z urządzeń centralnego zaopatrzenia w wodę z urządzeniami zasilanymi z innych źródeł wody. Dopuszcza się podłączenie instalacji wodociągowej do dwóch źródeł wody z zastosowaniem zbiornika pośredniego bezciśnieniowego zapewniającego utrzymanie ciśnienia atmosferycznego nad zwierciadłem wody. Dolna krawędź wlotu wody do zbiornika powinna znajdować się co najmniej 20 mm nad najwyższym poziomem swobodnego zwierciadła wody w zbiorniku (pkt. 2.4.2 przywołanej normy [2]). Powyższe oznacza, że zasilanie instalacji wodociągowej przeciwpożarowej w budynku z dwóch źródeł wymaga zastosowania przerwy powietrznej. Jest to rozwiązanie zapobiegające przepływowi zwrotnemu. Wymaganie to oznacza wprost, że niedopuszczalne jest wtłoczenie wody zanieczyszczonej (tak musi być traktowana woda wtłaczana pompą pożarniczą ze zbiornika samochodu lub z zewnętrznego źródła). Z przywołanej normy wprost wynikało stosowanie stacjonarnego układu pompowego w instalacji, dla której przewiduje się zastosowanie zasilania z dwóch źródeł.

Norma [2] została uchylona i zastąpiona przez PN-EN 1717: 2003 [6]. W normie tej szczegółowo opisano zasady zabezpieczenia instalacji przed przepływem zwrotnym. Zasadnicze wymaganie zawarto w pkt. 4.2: w miejscu, gdzie następuje mieszanie się wody wodociągowej z wodą pochodzącą z dowolnego innego źródła, w szczególności z wodą o nieznanych właściwościach (za taką uważa się wodę tłoczoną przez pompy pożarnicze), instalacja wodociągowa powinna być zabezpieczona swobodną przerwą powietrzną. Sieć (źródło) wody niezdatnej do picia lub wątpliwej jakości powinna zostać oddzielona, a cała instalacja odpowiednio oznakowana (np. innym kolorem przewodów). Woda tłoczona do instalacji ze zbiornika samochodu pożarniczego może zawierać różnorodne zanieczyszczenia (od środków pianotwórczych po zanieczyszczenia mikrobiologiczne). W normie [6] zamieszczono matrycę zespołów zabezpieczających, odpowiednich do kategorii płynów. Z matrycy wynika, że najprostszym zespołem zabezpieczającym jest swobodna przerwa powietrzna. Zawory antyskażeniowe mogą być stosowane wyłącznie w przypadku niektórych kategorii płynów [6-8].

W § 24 ust. 5 rozporządzenia [1] określono, że warunkiem dopuszczenia rozwiązań określonych w § 24 ust. 3 pkt 3 i ust. 4 tego rozporządzenia jest wyprowadzenie w elewacjach budynku, od strony drogi pożarowej, dodatkowej nasady o średnicy 75 mm, umożliwiającej zasilanie instalacji wodociągowej przeciwpożarowej z samochodów gaśniczych.

Rozwiązanie to jest poprawne w odniesieniu do rozwiązań z zastosowaniem zbiorników o zmniejszonej objętości, zawartych w § 24 ust. 3 pkt. 3, rozporządzenia [1], natomiast jest błędne w odniesieniu do warunków z ust. 4, ponieważ nie zapewnia przerwy powietrznej. Wymaganie dotyczące zastosowania przerwy powietrznej jest określone w normie [6]. Stosowanie zapisów norm nie jest obowiązkowe, jednak z uwagi na możliwość wtłoczenia do instalacji wody zanieczyszczonej, zdaniem autorów, konieczne jest ujednolicenie wymagań, w tym wypadku poprzez zmianę zapisów w rozporządzeniu [1], np. poprzez rezygnację z zasilania rezerwowego, które można uzasadnić znikomym zużyciem wody do gaszenia pożarów mieszkań w budynkach wysokich.

4. Wnioski

Na podstawie analizy rozwiązań określonych w przepisach dotyczących instalacji wodociągowych przeciwpożarowych w wysokich budynkach mieszkalnych można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Konieczne jest dokonanie analizy wymagań dotyczących wydajności instalacji wodociągowej przeciwpożarowej w budynkach wysokich.
2. Nie jest uzasadnione stosowanie w instalacjach wodociągowych przeciwpożarowych w budynkach wysokich pionów DN 80.
3. Konieczne jest dokonanie analizy zapisów dotyczących instalacji wodociągowej przeciwpożarowej w wysokich

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.17

budynkach mieszkalnych, zawartych w rozporządzeniu [1] pod kątem zgodności z innymi przepisami.

Literatura

[1] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 07 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2010 r. Nr 109, poz. 719).

[2] PN-92/B-01706. Instalacje wodociągowe. Wymagania w projektowaniu.

[3] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2003 r. Nr 121, poz. 1138).

[4] PN-B-02861:1994. Ochrona przeciwpożarowa budynków. Suche piony.

[5] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 21 kwietnia 2006 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. z 2006 r. Nr 80, poz. 563).

[6] PN-EN 1717: 2003. Ochrona przed wtórnym zanieczyszczeniem wody w instalacjach wodociągowych i ogólne wymagania dotyczące urządzeń zapobiegających zanieczyszczeniu przez przepływ zwrotny.

[7] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 29 marca 2007 r. w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2007 r. Nr 61, poz. 417).

[8] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 20 kwietnia 2010 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie jakości wody przeznaczonej do spożycia przez ludzi (Dz. U. z 2010 Nr 72, poz. 466).

* * *

st. bryg. w st. spocz. dr inż. Sylwester Kieliszek – ukończył studia na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Posiada uprawnienia rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych. Od ukończenia studiów jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym WOSP, a następnie SGSP. W latach 1988-1999 i ponownie od roku 2002 zajmuje stanowisko kierownika Katedry Techniki Pożarniczej. Prowadzi zajęcia z przedmiotów: hydromechanika, przeciwpożarowe zaopatrzenie w wodę, termodynamika. W pracy naukowej zajmuje się głównie badaniem własności przepływowych sprzętu pożarniczego. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów oraz wielu ekspertyz z zakresu ochrony przeciwpożarowej.

mł. bryg. dr inż. Tomasz Drzymała – jest absolwentem studiów magisterskich Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, którą ukończył w 2004 roku na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Pracę zawodową rozpoczął w 2004 roku na stanowisku asystenta w Zakładzie Hydromechaniki i Przeciwpożarowego Zaopatrzenia w Wodę. Od 2011 roku zajmuje stanowisko kierownika Zakładu Podstaw Budownictwa i Materiałów Budowlanych w Katedrze Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń. W ramach rozwoju naukowego bierze aktywny udział w konferencjach krajowych i zagranicznych, publikuje w czasopismach fachowych. Jest autorem oraz współautorem kilkudziesięciu artykułów i publikacji naukowych o tematyce dotyczącej ochrony przeciwpożarowej oraz budownictwa. Jego główne zainteresowanie skupia się obecnie na komputerowym modelowaniu procesów gaszenia oraz badaniu wpływu wysokich temperatur na zmianę właściwości materiałów kompozytowych.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 199–214

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.18

mgr inż. **Piotr Dronszczyk**[1]
dr hab. inż. **Michał Strach**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 20.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 22.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Zastosowanie technologii skaningu laserowego i termowizji do inwentaryzacji tunelu i znajdujących się w nim urządzeń przeciwpożarowych[3]

The Use of Laser Scanning Technology and Infrared Thermography to Survey a Tunnel and its Fire Protection Devices

Применение технологии лазерного сканирования и термовидения для инвентаризации туннеля и находящегося в нем противопожарного оборудования

ABSTRAKT

Cel: Celem badań było przedstawienie wyników inwentaryzacji wybranych elementów wyposażenia przeciwpożarowego krakowskiego tunelu szybkiego tramwaju (KST). W pracach doświadczalnych zostały zastosowane nowoczesne techniki pomiarowe 3D ze szczególnym uwzględnieniem skanowania laserowego uzupełnionego o termowizję. W celu ułatwienia korzystania z opracowanych obiektów wszystkie dane zostały udostępnione zdalnie na portalu internetowym.
Metody: Pomiary inwentaryzacyjne przeprowadzono z wykorzystaniem skanera laserowego 3D – Faro Focus X130. Skaner wykonuje jednocześnie pomiar kąta poziomego i pionowego oraz odległości do danego punku. Dodatkowo każdy punkt może posiadać atrybut koloru rzeczywistego w modelu przestrzeni barw RGB. Możliwe jest także wyświetlanie chmur punktów wraz z informacją o intensywności odbicia wiązki w skali szarości. Zbiory punktów zarejestrowanych na poszczególnych stanowiskach pomiarowych dają w rezultacie chmurę punktów reprezentującą geometrię obiektu. W ramach badań wykonano uzupełniające pomiary termowizyjne kamerą FLIR S60. W następnej kolejności skalibrowano ze sobą obrazy termowizyjne i połączono je z chmurą punktów uzyskaną ze skanowania laserowego.
Wyniki: Otrzymane wyniki potwierdziły, że metoda skanowania laserowego, uzupełniona o obrazy termowizyjne, pozwala na uzyskanie bogatej informacji przestrzennej o mierzonym obiekcie. Wśród zinwentaryzowanych elementów wyposażenia obiektu można zidentyfikować: przewody prądowe, oświetlenie, rozdzielnie prądowe, przewody wentylacyjne czy też systemy przeciwpożarowe. Do tych ostatnich można zaliczyć: system przeciwdymowy wraz z systemem klap i kanałów.
Wnioski: Wyniki przeprowadzonych badań inwentaryzacyjnych dowodzą, jak bardzo przydatne może być połączenie technologii skanowania laserowego i termowizji. Jest to szczególnie istotne w pomiarach obiektów ważnych z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego. Przestrzenna wizualizacja ułatwia i usprawnia pozyskanie informacji oraz jej dalsze wykorzystanie. Zalety tych połączonych technik to przede wszystkim uzyskanie pełnej informacji o geometrii obiektu i urządzeniach towarzyszących. Cennym uzupełnieniem informacji o obiekcie jest wówczas termowizja, dzięki której można rozpoznać urządzenia czy elementy systemów o różniącej się temperaturze.

Słowa kluczowe: systemy przeciwpożarowe, systemy wentylacyjne, tunel, skanowanie laserowe, termowizja
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The main aim of the study was to present the results of a survey of a variety of fire-preventive equipment in the Kraków Fast Tram tunnel (KST). Experimental studies involved modern 3D surveying techniques, particularly 3D laser scanning and infrared thermography. In order to facilitate the use of the generated findings, all data have been made available remotely on a web portal.
Methods: Survey measurements were taken using a Faro Focus X130 3D laser scanner. The scanner simultaneously performs vertical and horizontal angle measurements and calculates the distance to a given point. In addition, each point can have a real colour value in RGB space. It is also possible to present point clouds together with the intensity values in grayscale. The collections of points registered at individual vantage points result in a cloud of points representing the geometry of the object. Additional thermal measurements were carried out as part of the study, using a FLIR S60 camera. Finally, thermal images were calibrated and merged with the point cloud obtained from the laser scanning.

[1] Apply Capnor Poland Sp z o.o., Krakow; piotr.dronszczyk@applycapnor.pl;
[2] AGH w Krakowie / AGH University of Science and Technology, Poland;
[3] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.18

Results: The results confirmed that laser scanning, together with thermal, images allows us to obtain detailed spatial information about the surveyed structure. Among the surveyed elements of the structure's equipment the following can be identified: cable trays, lighting, switchboards, ventilation ducts, and fire-protection systems. The latter include a smoke protection system, together with valves and channels.
Conclusions: The results demonstrate the usefulness of combining 3D laser scanning measurements and infrared thermography. This is especially important in the measurement of objects responsible for security and fire safety. Spatial visualisation facilitates and streamlines the acquisition of data and their further use. The primary advantage of combining these two techniques is the acquiring of complete geometrical information on the object and the corresponding devices. Another valuable addition is infrared thermography. It allows the identifying of devices or items in a single system with varying temperatures.

Keywords: fire protection systems, ventilation systems, tunnel, laser scanning, infrared thermography
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью исследования было представление результатов инвентаризации отдельных элементов противопожарного оборудования Краковского туннеля быстрого трамвая (KST). В экспериментальных исследованиях были использованы современные методы 3D-измерения с особым акцентом на лазерное сканирование, дополненное технологией термовидения. Для того, чтобы облегчить использование разработанных объектов, все данные были опубликованы на веб-портале.
Методы: Инвентаризационные измерения были проведены с помощью лазерного сканера 3D - FARO FOCUS X130. Сканер измеряет одновременно горизонтальный и вертикальный угол и расстояния до заданной точки. Кроме того, каждая точка может иметь фактический цвет модели цветов RGB. Кроме того, можно отобразить облака точек вместе с информацией об интенсивности отражения луча в оттенках серого. Множества точек, зарегистрированных на отдельных измерительных установках, дают в результате облако точек, представляющих геометрию объекта. В рамках исследований были проведены дополнительные измерения термовизионной камерой FLIR S60. Далее были откалиброваны термограммы и соединены с облаком точек, полученных с помощью лазерного сканирования.
Результаты: Полученные результаты подтвердили, что метод лазерного сканирования, дополненный термограммами, позволяет собрать богатую пространственную информацию об измеряемом объекте. Среди инвентаризируемых пунктов оснащения объектов можно выделить: электрические провода, освещение, электрический коммутатор, вентиляционные каналы либо системы противопожарной защиты. Последние могут включать в себя: систему дымоудаления вместе с системой клапанов и каналов.
Выводы: Результаты проведенных инвентаризационных исследований показывают на сколько полезным может быть сочетание лазерной технологии сканирования и термовидения. Это особенно важно в измерениях объектов, с точки зрения пожарной безопасности. Визуализация пространственных данных облегчает и ускоряет получение информации и ее дальнейшее использование. Преимущества комбинированной методики это в основном исчерпывающая информации о геометрии объекта и находящихся в ним устройств. Ценным дополнением информации об объекте является термовидение, которое позволяет идентифицировать устройства или компоненты систем с различной температурой.

Ключевые слова: системы пожарной безопасности, системы вентиляции, туннель, лазерное сканирование, термовидение
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

W ciągu ostatnich kilkudziesięciu lat doszło do szeregu poważnych incydentów związanych z pożarami w tunelach. Wypadki te spowodowały uszkodzenia konstrukcji budowli i doprowadziły do śmierci świadków tych zdarzeń [1]. Do niebezpiecznych, a nawet katastrofalnych zdarzeń można zaliczyć pożary, które miały miejsce w następujących obiektach: w tunelu drogowym Mont Blanc w 1999 roku, w tunelu Frejus w 2005 roku, w tunelu Gleinalm w 2001 roku, czy też w tunelu Wisłostrada w 2011 roku. Najtragiczniejszym w skutkach był pożar w tunelu drogowym Mont Blanc, w którym zginęło 41 osób. Po tym zdarzeniu tunel został zamknięty na dwa lata z powodu uszkodzenia obudowy na odcinku 900 m. Odbudowa obiektu po tego typu zdarzeniach jest zazwyczaj czasochłonna i kosztowna. Wymaga także zamknięcia tunelu na długi czas. Zdarza się, że pożary w tunelach mają wpływ na uszkodzenia budynków i elementów konstrukcji położonych nad tunelem [2]. Bezpieczeństwo w tunelu jest priorytetowym zagadnieniem uwzględnianym zarówno podczas projektowania obiektu, jak i w trakcie jego eksploatacji. Jednym z podstawowych elementów wpływających na bezpieczeństwo są systemy przeciwpożarowe. Dzieli się je na systemy aktywne i pasywne (tabela 1). Osoby przebywające w zasięgu pożaru są najbardziej narażone na dym oraz toksyczne gazy. Ponad 90% wszystkich ofiar pożarów w budynkach umiera w skutek zatrucia gazami. Z tego powodu stosowane są systemy aktywne służące do odprowadzania dymu i gorąca. Umożliwiają one sprawne usuwanie lub zmniejszenie koncentracji trujących, lotnych związków w zagrożonych obszarach. Do elementów

1. Introduction

Several serious incidences of fires in tunnels have occurred in the last few decades. These accidents caused structural damage and led to the deaths of many of their witnesses [1]. Dangerous, even catastrophic, events included fires that broke out within the following structures: the Mont Blanc Road Tunnel in 1999, the Fréjus Tunnel in 2005, the Gleinalm Tunnel in 2001 and the Wisłostrada Tunnel in 2011. The most tragic of these events was the fire in the Mont Blanc Road Tunnel, which claimed the lives of 41 people. After the incident, the Tunnel was closed for two years due to tunnel casing damage along a 900 m-long section. The reconstruction work following such events is usually time-consuming and expensive. It also necessitates prolonged tunnel closure. Tunnel fires sometimes cause damage to buildings and structural elements located above the tunnel [2]. Safety inside the tunnel is the primary concern at both the design and operational stages. One of the essential safety determinants is the presence of fire protection systems, which are divided into active and passive (Table 1). Persons present within the fire area are the most exposed to smoke and toxic gas. More than 90% of all victims in buildings die of gas poisoning. To prevent this, active systems for smoke and heat extraction are implemented. They effectively extract or reduce the concentration of poisonous volatile compounds in the affected areas. Active systems also include fire sprinklers, water-mist systems, foam systems and smoke protection systems.

Tabela 1. Podział systemów przeciwpożarowych stosowanych w tunelach [3]
Table 1. The division of fire protection systems in tunnels [3]

Systemy aktywne / Active systems	Systemy pasywne / Passive systems
Grawitacyjne systemy oddymiania / Gravitational smoke extraction systems	Zabezpieczenia drewna / Wood protection
Klapy dymowe i okna oddymiające / Smoke vents and smoke ventilation windows	Zabezpieczenia tras kablowych / Cable tray protection
Systemy oddymiania szybów windowych / Smoke control systems in lift shafts	Zabezpieczenie konstrukcji stalowych / Protection of steel structures
Systemy napędów/ Drive systems	Budowa przegród / Construction of partitions
Systemy blokad drzwi przeciwpożarowych / Locking systems of fire doors	Zabezpieczenia systemów wentylacji / Protection of ventilation systems
Systemy sygnalizacji pożarowej (SSP) / Fire-alarm systems	Zabezpieczenia szczelin i łączeń / Protection of gaps and joints
Dźwiękowe systemy ostrzegawcze (DSO) / Voice alarm systems	Zabezpieczenia rur palnych i niepalnych / Protection of combustible and non-combustible pipes
Stałe urządzenia gaśnicze / Fixed firefighting devices	Zabezpieczenia elewacji betonowych / Protection of concrete facades

systemu aktywnego należą także: zraszacze wodne, urządzenia generujące mgłę wodną, pianowe systemy gaśnicze oraz systemy przeciwdymowe.

Z uwagi na bezpieczeństwo konstrukcji budowli poszczególne elementy składowe systemów aktywnych pełnią rolę drugorzędną w stosunku do systemów pasywnych. Te pierwsze stanowią ostateczną linię ochrony przed uszkodzeniem konstrukcji tuneli. W projektowaniu systemów pasywnych brane są pod uwagę materiały i rozwiązania konstrukcyjne stanowiące bariery ochronne zabezpieczające konstrukcje tuneli przed pożarem. Co ważne, nie wymagają one zewnętrznej aktywacji w przypadku pożaru.

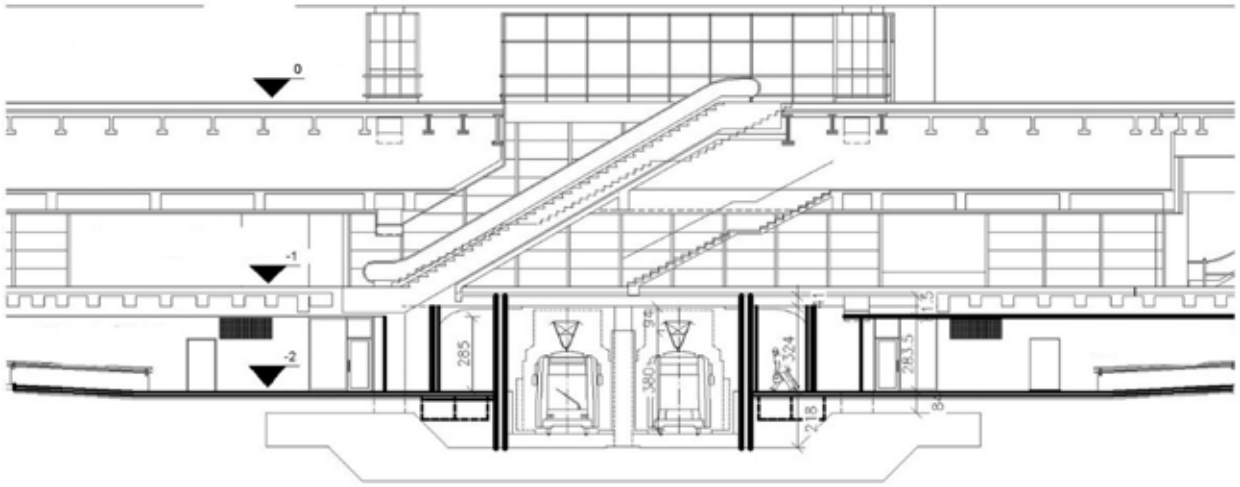
Obiektem poddanym analizom jest tunel tramwajowy o długości nieco ponad 1400 m (ryc. 1). Był on budowany przez 34 lata, a w 2008 roku został ostatecznie ukończony i oddany do użytku. Budowla pozwala na szybkie skomunikowanie dworca PKP w Krakowie z północą i południem miasta, łącząc dwie trasy Krakowskiego Szybkiego Tramwaju od Kurdwanowa aż po Krowodrzą Górkę [4]. Obiekt składa się z odcinków powstałych w różnym czasie i z zastosowaniem zmieniających się technik budowy. Pomimo tego został zrealizowany z uwzględnieniem najwyższych standardów w zakresie szeroko pojętego bezpieczeństwa i trwałości budowli. Jest to tunel płytki i pierwszy tego typu obiekt w Polsce. W tunelu działa szereg systemów obsługi. Łączność radiową z tramwajami zapewnia nieekranowany kabel przeciągnięty wzdłuż komór i podłączony do anten umieszczonych przy obu wlotach. W celu zapewnienia bezpieczeństwa ruchu wykorzystywana jest dwustronna samoczynna blokada liniowa. W tunelu działają telefony SOS umożliwiające połączenie z dyspozytorem, a we wschodniej części znajdują się dodatkowo klatki ewakuacyjne. W części zachodniej ich rolę pełnią oba przystanki (ryc. 2). Nad bezpieczeństwem podróżnych, szczególnie w zakresie wentylacji oddymiającej, czuwa system zarządzania infrastrukturą. Na podstawowy system oddymiania składa się 12 rewersyjnych wentylatorów oddymiających o średnicy od 1600 do 2000 mm. Urządzenia zapewniają odprowadzenie dymu i gazów powstających podczas ewentualnego pożaru i zapewniają odpowiednią ilość świeżego powietrza do przewietrzenia tunelu. Tunel wyposażony jest również w elementy pasywnego systemu bezpieczeństwa. Składają się na nie: bierne zabezpieczenie tras kablowych, system wentylacji przeciwdymowej i uszczelnienie przed przenikaniem dymu i gazów [5]. Wspomniane systemy wentylacji, zarówno bytowej jak i pożarowej stanowią ważny element bezpieczeństwa w tunelu. System wentylacji w warunkach normalnej eksploatacji obniża stężenie zanieczyszczeń gazowych i py-

To maintain structural safety, the individual components of active systems are secondary to passive systems. The former represent the final line of defence against structural damage to tunnels. The design process of passive systems takes into account the materials and structural solutions acting as barriers protecting the tunnel structure from fires. Importantly, these systems do not require external activation in the event of a fire.

The analysed structure is a tram tunnel with a length of slightly more than 1400 m (Fig. 1). Its construction took 34 years, and it was completed and opened in 2008. The structure allows quick transport between the train station in Kraków and the northern and southern parts of the city, connecting two routes of the Kraków Fast Tram from Kurdwanów to Krowodrza Górka stops [4]. The structure is composed of sections completed at various times and using various construction techniques. Despite this, the tunnel was built to the highest standards in general safety and durability. It is a shallow tunnel and the first structure of this type in Poland. A number of service systems are in place in the tunnel. Radio communications with trams is facilitated by an unshielded cable running along the chambers and connected to antennae located at both tunnel entrances. Two-way automatic block signalling is used to ensure traffic safety. SOS phones are available inside the tunnel, allowing connection with a dispatcher, and the eastern section also features escape staircases. In the western section this function is served by both stops (Fig. 2). The safety of passengers, particularly with regard to smoke ventilation, is ensured by an infrastructure management system. The basic smoke-extraction system is composed of 12 reversible fans with a diameter of 1,600 to 2,000 mm. The devices extract smoke and gases emitted in a potential fire and supply the sufficient amount of fresh air to ventilate the tunnel. The tunnel is also equipped with passive safety system components. It includes the passive protection of cable ducts, a smoke ventilation system and seals against smoke and gases [5]. These ventilation systems, for both comfort and fire ventilation, constitute an important element of safety in the tunnel. Under normal operating conditions, the ventilation system reduces the concentration of gas and particulate pollutants and maintains the required visibility. During a fire, the ventilation system is responsible for the effective extraction of smoke and heat. This guarantees the evacuation of people from the tunnel and facilitates rescue and firefighting operations. For the ventilation system to fulfil all the above functions, a sufficient flow of air, in terms of speed and direction, must be maintained in the tunnel. To

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.18

Ryc. 1. Wnętrze tunelu KST, jednokomorowy fragment tunelu
Fig. 1. The interior of a KST tunnel – a single-chamber section
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 2. Przekrój poprzeczny stacji KST „Dworzec Główny" – dane projektowe [4]
Fig. 2. The cross section of a KST tram stop "Dworzec Główny" (Central Station) – design data [4]

łowych oraz zapewnia wymagany zasięg widzialności. W warunkach pożaru system wentylacji odpowiada za skuteczne odprowadzanie dymu i ciepła. Gwarantuje on tym samym możliwość ewakuacji osób znajdujących się w tunelu oraz ułatwia prowadzenie działań ratowniczo-gaśniczych. Aby system wentylacji spełniał powyższe funkcje, należy zapewnić właściwy, pod względem prędkości i kierunku, przepływ powietrza w tunelu. W tym celu projektant posługuje się specjalistycznym oprogramowaniem, w którym uwzględniane są kubatura obiektu, wielkość i przekroje kluczowych elementów. W zależności od specyfiki i gabarytów obiektu dobierana jest moc, wielkość i rozmieszczenie elementów infrastruktury odpowiedzialnej za system wentylacyjny.

2. Metody

W niniejszym artykule oprócz zagadnień teoretycznych, związanych z nowoczesnymi metodami pomiarowymi (skanowanie laserowe i termowizja), przedstawiono także praktyczne wykorzystanie dostępnych narzędzi i aplikacji.

achieve this, designers use specialised software which analyses the structure's volume, and the size and sections of its key elements. The power, size and distribution of the infrastructural elements making up the ventilation system are selected depending on the specific structure and its dimensions.

2. Methods

In addition to theoretical issues connected with modern measurement methods (laser scanning and infrared thermography), this article focuses on the practical usage of the available tools and applications. It draws on information from a number of scientific publications and national legal acts. Furthermore, the authors contributed their experience in the field of measurement methods used for tunnel surveying.

2.1. An analysis of the measurement methods used in measuring the Kraków Fast Tram tunnel.

Engineering verification measurements are performed as the construction progresses. Control measurements are also

W opracowaniu wykorzystano informacje pochodzące z publikacji naukowych oraz krajowych aktów prawnych. Ponadto autorzy oparli się na własnym doświadczeniu związanym z metodami pomiarowymi na potrzeby inwentaryzacji tuneli.

2.1. Analiza metod pomiarowych zastosowanych w pomiarze w tunelu Krakowskiego Szybkiego Tramwaju

Inżynierskie pomiary weryfikacyjne są wykonywane w miarę postępu prac budowlanych obiektu. Ponadto pomiary kontrolne są realizowane okresowo po zakończeniu budowy i w trakcie jego użytkowania w celu sprawdzenia jego stanu technicznego [6-7].

2.1.1. Skanowanie laserowe

Skanowanie laserowe jest bezinwazyjną i bardzo szybką metodą inwentaryzacji. Stosuje się ją w szerokim spektrum prac inżynierskich. W tej metodzie powierzchnia jest mierzona za pomocą wiązki laserowej. Parametrami rejestrowanymi przez skaner są: kąty poziomy i pionowy wiązki lasera, odległość do obiektu i moc sygnału odbitego. W efekcie otrzymywany jest zbiór punktów o określonych współrzędnych przestrzennych. Urządzenie analizuje znajdujące się w przestrzeni pomiarowej obiekty poprzez zbieranie informacji o ich geometrii, kolorze i intensywności odbicia [8]. Pozyskane dane mogą być wykorzystane przy tworzeniu dokumentacji cyfrowej w postaci rysunków dwuwymiarowych lub trójwymiarowych modeli przestrzennych. Dostępne na rynku urządzenia różnią się szybkością działania, zasięgiem czy też sposobem obsługi (tabela 2). Zastosowane w badaniach skanery umożliwiały wykonanie kompletnego pomiaru z pojedynczego stanowiska w ciągu kilku minut. Ich zasięg umożliwiał pomiar do 100 m z jednoczesną rejestracją kolorów rzeczywistych obiektu.

Zaletą skanowania laserowego jest rejestracja bardzo dużej liczby punktów z precyzją kilku milimetrów w stosunkowo krótkim czasie. Metodę można porównać do fotografii, z tą jednak różnicą, że dodatkowo pozyskiwana jest informacja o odległości urządzenia pomiarowego od mierzonych obiektów. Skaner laserowy realizuje pomiar w polu widzenia urządzenia. W związku z tym zazwyczaj niezbędne jest wykonanie pracy z większej liczby stanowisk. Duża szybkość pracy i wysoka dokładność przestrzennego położenia zinwentaryzowanych obiektów, a także coraz bardziej przystępne koszty stosowania tej technologii sprawiają, że jest ona coraz częściej wybierana do pomiaru budowli tunelowych [9-10].

performed periodically after the tunnel's completion and during its operation, to verify its technical condition [6-7].

2.1.1. Laser scanning

Laser scanning is a fast and non-invasive surveying method. It is used in a wide range of engineering works. In this method, surfaces are measured using a laser beam. The parameters recorded by the scanner are the horizontal and vertical angle of the beam, distance to object and return signal intensity. This produces a cloud of points with specific spatial coordinates. The device analyses the objects within the measurement space by collecting information on their geometry, colour and signal intensity properties [8]. The obtained data can be used in creating digital documentation in the form of 2D drawings or 3D models. The devices available on the market differ in measurement speed, range and operating methods (Table 2). The scanners used for surveying required several minutes to perform a complete measurement from a single vantage point. Their range allowed surveying up to 100 m while recording the real colours of the object.

The advantage of laser scanning is its capability to record a very large number of points with a precision of several millimetres in a relatively short time. This method can be compared to photography, the difference being that the information obtained relates to the distance of the measurement device from the measured objects. Laser scanners perform measurements within their field of view. Due to this, it is usually necessary to use a number of vantage points to complete the scanning process. The speed and high accuracy of the spatial measurement of surveyed objects, and also the increasing affordability of this technology, make it an increasingly popular choice for surveying tunnel structures [9-10].

2.1.2. Thermal measurements

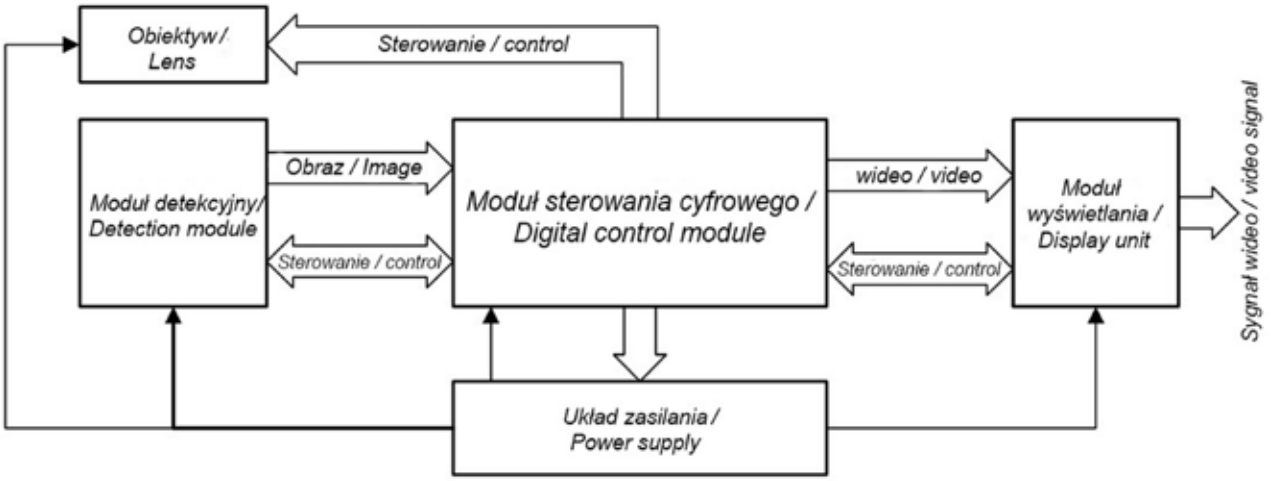
The laser scanning method in the fire protection infrastructure measurement was supplemented by a thermal camera. Thermographic measurements are another non-invasive and non-destructive technology for obtaining data on physical bodies. This method involves the measurement and recording of the intensity of infrared radiation emitted by physical objects in the temperature ranges encountered under typical conditions (Fig. 3). This technology allows the measurement of object temperatures. Providing an external light source is not necessary.

Tabela 2. Parametry skanerów laserowych
Table 2. Laser scanner parameters

Nazwa skanera / Scanner name	Zasięg / Range	Maksymalna prędkość pomiaru / Maximum measurement speed	Kąt widzenia (pionowy / poziomy) / Angle of view (horizontal / vertical)	Błąd pomiaru odległości / Distance measurement error	Błąd współrzędnej punktu / Point coordinate error
Leica C10	1 - 500 m	50 000 punktów / s (points/s)	270 / 360	4 mm	6mm (1-50 m)
Faro Focus X130	0.6 – 130 m	976 000 punktów / s (points/s)	300 / 360	4 mm	N/A
Z+F 5010 C	0.3 – 187 m	1 016 000 punktów / s (points/s)	320 / 360	1 mm	N/A
Riegl VZ400	1.5 – 600 m	122 000 punktów / s (points/s)	100 / 360	N/A	5 mm (1.5-100 m)

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.18



Ryc. 3. Uproszczony schemat działania kamery termowizyjnej [11]
Fig. 3. Simplified diagram of the thermal camera operation [11]

2.1.2. Pomiary termowizyjne

Metoda skanowania laserowego w pomiarach infrastruktury przeciwpożarowej tunelu została uzupełniona poprzez zastosowanie kamery termowizyjnej. Pomiary termowizyjne są bezinwazyjną i nieniszczącą technologią pozyskiwania danych o ciałach fizycznych. W metodzie tej prowadzony jest pomiar i rejestracja natężenia promieniowania podczerwonego emitowanego przez obiekty fizyczne w przedziale temperatur spotykanych w typowych warunkach (ryc. 3). Technologia umożliwia pomiar temperatury obiektów. Nie ma także konieczności oświetlania ich zewnętrznym źródłem światła.

Sposób pracy i uzyskane wyniki zależą od modelu kamery termowizyjnej. Urządzenia różnią się między innymi rozdzielczością pozyskanych obrazów, zakresem rejestrowanych temperatur czy sposobem obsługi. Zależnie od spektralnego zakresu pracy, kamery termowizyjne dzieli się najczęściej na średniofalowe MWIR (zakres pracy 3÷5 μm) i długofalowe LWIR (8÷14 μm).

Diagnostyka aparatami termowizyjnymi pozwala na badanie i analizę:

- instalacji i urządzeń elektrostatycznych, rozdzielni elektrycznych, sieci przemysłowych [12],
- stanu izolacji termicznej rurociągów i sieci ciepłowniczych, wykrywanie wycieków i nieszczelności,
- chłodni przemysłowych, przechowalni i magazynów z instalacją chłodzenia,
- linii produkcyjnych i procesów technologicznych oraz wykrywanie usterek maszyn i urządzeń,
- środowiska m.in. poprzez analizowanie emisji pyłów, zrzutu ciepłej wody i ścieków, lokalizowanie ognisk pożarowych,
- zagrożeń związanych z możliwym samozapłonem (składowanie węgla, zbóż itp.) [13],
- stanu kominów i in [14].

3. Dyskusja nad metodami i wynikami

Niniejszy artykuł prezentuje praktyczne możliwości zastosowania metody skanowania laserowego (ryc. 4a) w inwentaryzacji elementów tunelu Krakowskiego Szybkiego Tramwaju. W sposób szczególny potraktowano wyposażenie przeciwpożarowe w obiekcie. Z tego powodu prace badawcze poszerzono o technologie pomiarów termowizyjnych (ryc. 4b). Wybór drugiej techniki pomiarowej był szczególnie przydatny ze względu na możliwości diagnozowania potencjalnych źródeł zagrożenia pożarowego.

The working methods and obtained results depend on the thermal camera model. Thermal imaging devices differ in terms of, i.a., the resolution of obtained images, the range of recorded temperatures and the method of use. Depending on their spectral range, thermal cameras are usually divided into MWIR (mid-wave infrared, 3÷5 μm range) and LWIR (long-wave infrared, 8÷14 μm).

Thermal imaging allows the study and analysis of:

- electrostatic systems and devices, electrical switchboards and industrial networks [12],
- the condition of thermal insulation of piping and heat networks, detecting leaks,
- industrial cold stores, storage rooms and warehouses with cooling systems,
- production lines and technological processes, detecting machine and device faults,
- the environment, by, i.a., analysing the emission of particulates, the inputs of hot water and wastewater, locating fire centres etc.,
- hazards connected with potential self-combustion (storage of coal, grain etc.) [13],
- the condition of chimneys and other objects [14].

3. Methods and results overview

This article presents the practical ways of using the laser scanning method (Fig. 4a) in the surveying of elements of the Kraków Fast Tram tunnel. Particular attention was given to the structure's fire protection system. For this reason, the research work was extended to cover thermographic measurement technologies (Fig. 4b). The choice of the second surveying technique was particularly useful, due to its capability of identifying potential fire hazards.

3.1. Field work

The first site survey was performed thanks to the cooperation of the Apply Capnor Poland Company and the AGH University of Science and Technology in Kraków. The surveying work was conducted in November 2014 along the entire length of the tunnel. The measurements took 20 hours and involved nearly 200 scanner vantage points. The resulting point clouds were aligned with the Polish national coordinate system using GPS technology. The second survey stage was completed in April 2016. Its objective was to supplement the data collected previously with details of the fire infrastructure. The selected elements were smoke extraction channels, cable duct locations and switchboards that represented potential

3.1. Prace terenowe

Pierwszy pomiar inwentaryzacyjny został zrealizowany dzięki współpracy firmy Apply Capnor Poland oraz AGH w Krakowie. Prace wykonano w listopadzie 2014 roku na całej długości tunelu. Pomiar przeprowadzono w ciągu 20 godzin i wykonano go na niespełna 200 stanowiskach skanera. Pozyskane chmury punktów przetransformowano do państwowego układu współrzędnych wyznaczonego za pomocą techniki GPS. Drugi etap pomiarów został zrealizowany w kwietniu 2016 roku. Jego celem było uzupełnienie wcześniej zebranych danych o szczegóły związane z infrastrukturą przeciwpożarową. Wytypowano następujące elementy: kanały przeciwdymowe, lokalizację tras kablowych i skrzyń rozdzielczych mogących stanowić źródło potencjalnego pożaru oraz inne drobne elementy wyposażenia tunelu mające wpływ na jego bezpieczne użytkowanie. Jednoznaczna przestrzenna identyfikacja wspomnianego wyposażenia z pewnością byłaby przydatna dla służb odpowiedzialnych za utrzymanie i monitoring obiektu. Pomiary uzupełniające zrealizowano w trakcie przerwy eksploatacyjnej tunelu w godzinach od 00:00 do 4:00. Wytypowanych zostało 26 stanowisk skanera laserowe-

fire hazards, and other small elements of tunnel equipment affecting its safety. A clear spatial identification of the listed equipment would definitely be useful for the services responsible for the facility's maintenance and monitoring. Additional measurements were conducted during the non-operational period in the tunnel between midnight and 4 a.m. 26 laser scanner vantage points were selected (Fig. 4a). The scan was supplemented by 97 thermograms showing objects with higher temperatures relative to their surroundings (Fig. 5).

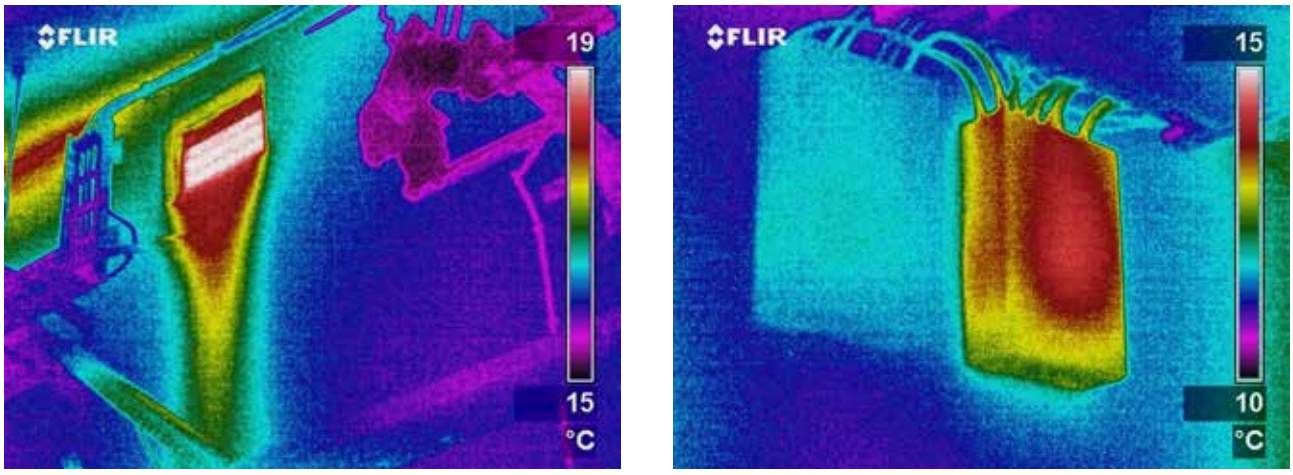
3.2. Office work

3.2.1. Processing the point cloud

The office work was divided into several stages. The first stage involved the calculation and alignment of the coordinates of the points in the photogrammetric control network (reference points) plotted inside in the tunnel. The network made it possible to transform all point clouds into the common National Coordinate System. In addition, the network served as a basis for conducting an independent audit of the quality and accuracy of links between all point clouds in the tunnel.

a) b)

Ryc. 4. Zastosowane urządzenia pomiarowe a) skaner laserowy FARO Focus X130 i b) kamera termowizyjna FLIR S60
Fig. 4. The measuring devices used: a) a FARO Focus X130 Laser Scanner and b) a FLIR S60 thermal imaging camera
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



a) b)

Ryc. 5. Termogramy obiektów o podwyższonej temperaturze w stosunku do otoczenia
a) wylot systemu wentylacyjnego i b) elektryczna skrzynia rozdzielcza
Fig. 5. Thermograms of objects with a higher temperature relative to the surrounding conditions
a) a ventilation system outlet and b) an electrical box
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.18

go (ryc. 4a). Pomiar uzupełniono o 97 termogramów przedstawiających obiekty wyróżniające się temperaturą wyższą od otaczających obiektów (ryc. 5).

3.2. Prace kameralne

3.2.1. Opracowanie chmury punktów

Prace kameralne zostały podzielone na kilka etapów. W pierwszym z nich przeprowadzono obliczenie i wyrównanie współrzędnych punktów osnowy fotogrametrycznej (punktów referencyjnych) założonej w tunelu. Osnowa umożliwiła przeprowadzenie transformacji wszystkich chmur punktów do wspólnego, państwowego układu współrzędnych. Dodatkowo osnowa była podstawą do przeprowadzenia niezależnej kontroli jakości i dokładności połączenia wszystkich chmur punktów w tunelu.

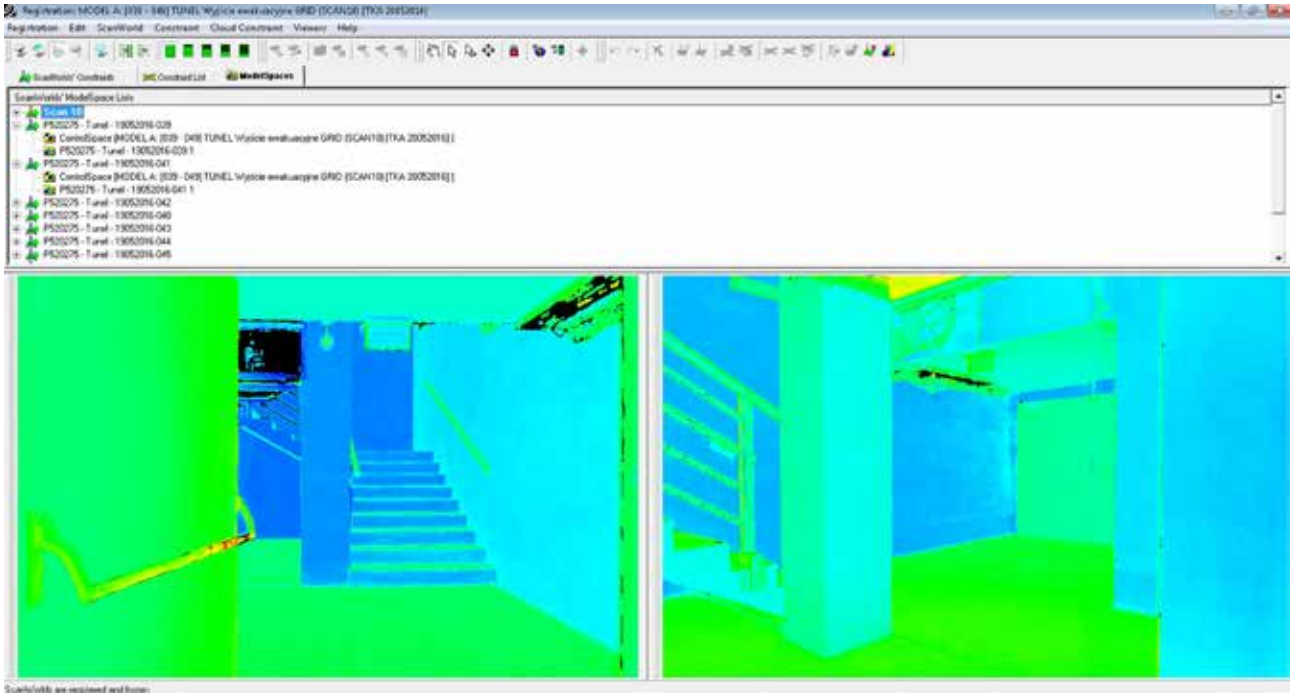
W kolejnym etapie prac dokonano połączenia stanowisk skanera w układzie lokalnym, a następnie przeprowadzono transformacje do zewnętrznego układu referencyjnego. Opracowanie zrealizowano w aplikacji Register w oprogramowaniu Cyclone firmy Leica Geosystems (ryc. 6). W ramach optymalizacji procesu obliczeniowego, zastosowano wszystkie dostępne metody łączenia skanów: tarcza do tarczy, skan do skanu oraz płaszczyzna do płaszczyzny.

Po przeprowadzeniu niezbędnych obliczeń uzyskano chmurę punktów zawierającą dodatkowo parametr intensywności odbicia, który może być zaprezentowany w skali szarości lub innej gradacji kolorystycznej. Każda z chmur, zarejestrowana skanerem laserowym FARO Focus 3D, zawiera około 11 mln punktów. Całkowita chmura wraz ze skanami uzupełniającymi utworzyła bazę danych o liczebności przekraczającej 2,7 mld punktów, zajmując około 24 GB przestrzeni dyskowej. Moduł Cyclone Register dostarcza szczegółowych raportów z wykazem o jakości danych i informacją o średnim błędzie kwadratowym połączeń pomiędzy chmurami punktów. Otrzymana z rejestracji chmura dla całego obiektu charakteryzowała się błędem wynoszącym 1 mm dla

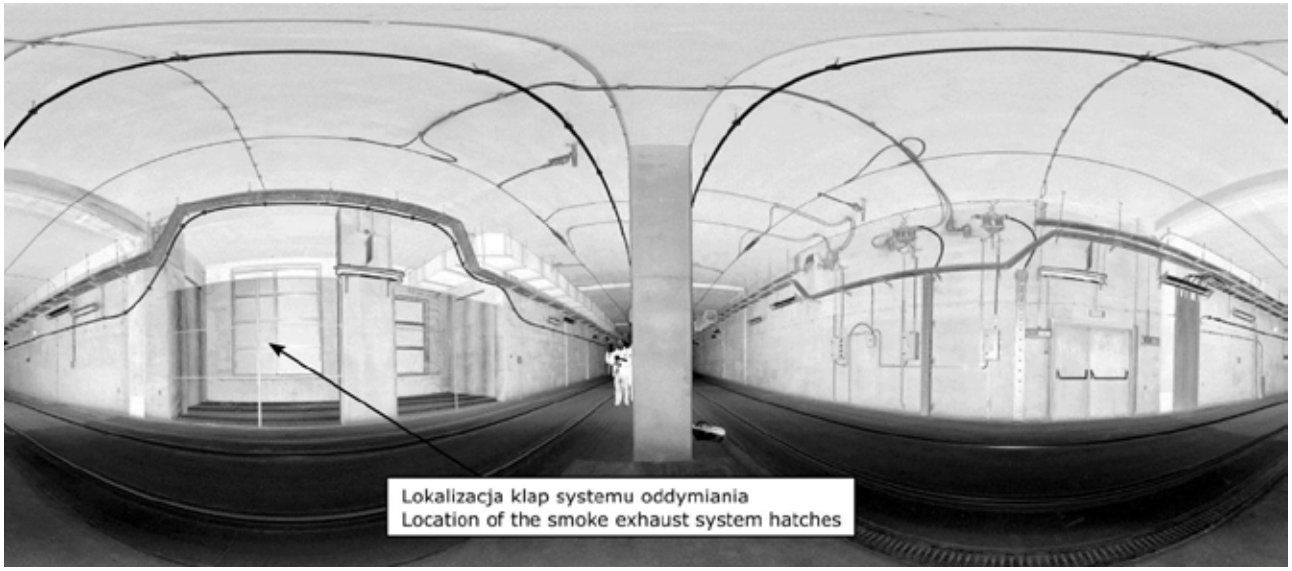
The next stage involved combining the scanner vantage points within the local coordinate system, and then their transformation into the external reference system. The data were processed in the Register application forming part of the Cyclone software by Leica Geosystems (Fig. 6). All available methods of combining scans, i.e. target-to-target, scan-to-scan and plane-to-plane, were employed to optimise the computing process.

After performing the necessary calculations, a point cloud was derived containing an additional parameter of signal intensity, which can be presented in grayscale or in another gradient. Each cloud, recorded with the FARO Focus 3D laser scanner, contained about 11 million points. The whole cloud, along with the supplementary scans, formed a database of more than 2.7 billion points, taking up about 24 GB of disk space. The Cyclone Register module provides detailed reports, including data quality information and information on the root mean square error of the alignment between point clouds. The cloud obtained from the registration process for the whole structure had an error of 1 mm for active connections and 29 mm for inactive connections. Furthermore, the transformation of the local coordinate system of the point cloud into the National Coordinate System resulted in a root mean square error of 5 mm. This processing resulted in a complete representation of the structure. This allows any spatial analysis to be performed with regard to geometry, i.e. a virtual tour of the structure and orientation. This point cloud can also form the basis for all kinds of design work.

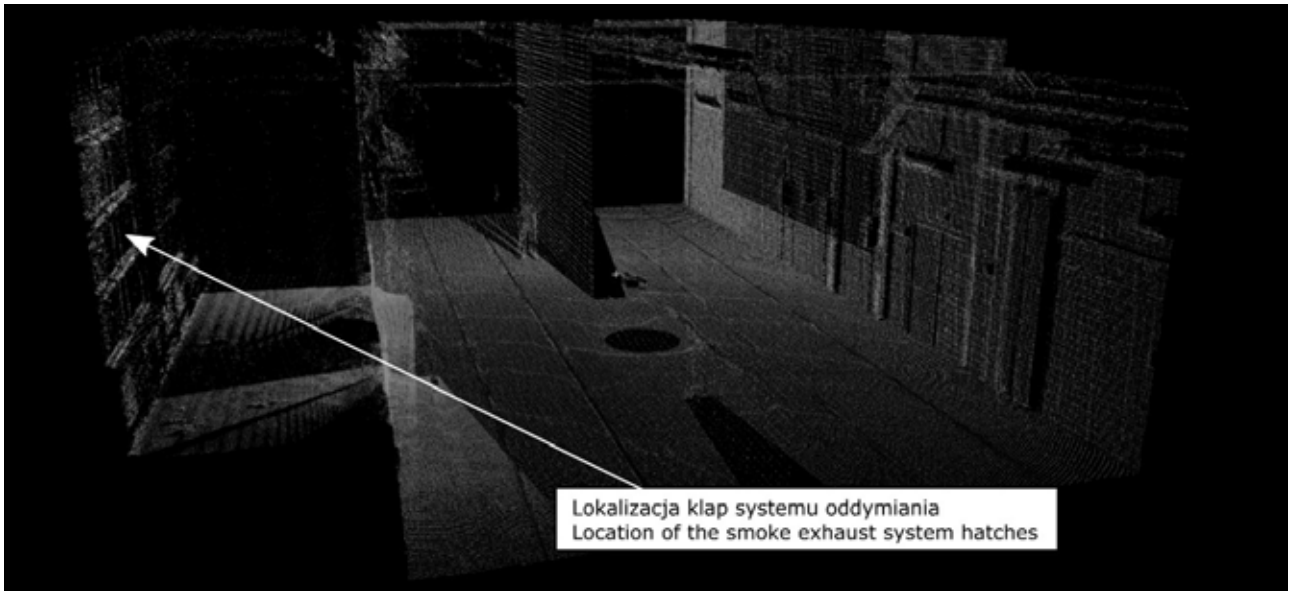
The figures below show the possible modes of viewing the point cloud. Figures 7 and 8 demonstrate a single position, which allows the detailed imaging of even the small details of the tunnel. Fig. 9 shows the complete point cloud representing the whole tunnel. It can be useful in both detailed and general orientation within the structure, but also for conducting large-scale research.



Ryc. 6. Łączenie chmur punktów w aplikacji Cyclone, widok okna modułu Register
Fig. 6. Combining point clouds in the Cyclone application, a view of the Register module window
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 7. Widok płaski chmury punktów pojedynczego stanowiska skanera w skali szarości przedstawiający fragment tunel KST (klapy systemu oddymiania po lewej stronie)
Fig. 7. Flat view of the point cloud from a single scan vantage point in grayscale from the KST tunnel (smoke dampers on the left side)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 8. Widok perspektywiczny chmury punktów pojedynczego stanowiska skanera w skali szarości przedstawiający fragment tunel KST (klapy systemu oddymiania po lewej stronie)
Fig. 8. Perspective view of the point cloud from a single scan vantage point in grayscale from the KST tunnel (smoke dampers on the left side)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

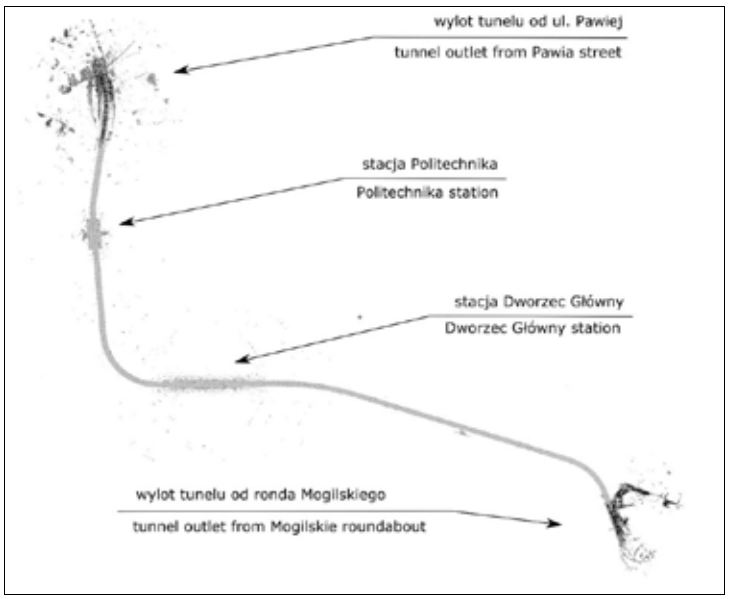
połączeń aktywnych oraz 29 mm dla połączeń nieaktywnych. Ponadto transformacja lokalnego układu współrzędnych chmury punktów do państwowego układu współrzędnych dała średni błąd kwadratowy równy 5 mm. Tak przygotowany materiał reprezentuje kompletny obraz obiektu. Pozwala na wykonanie dowolnej analizy przestrzennej w zakresie geometrii, wirtualnego poruszania się po obiekcie czy orientacji w terenie. Chmura punktów może być także bazą dla wszelkich prac projektowych.

Przedstawione poniżej ryciny ukazują sposoby prezentacji chmury punktów. Na rycinie 7 i 8 zobrazowane jest pojedyncze stanowisko, na którym możliwe jest szczegółowe zobrazowanie nawet niewielkich detali tunelu. Na rycinie 9 znajduje się kompletna chmura punktów reprezentująca cały

3.2.2. Preparing thermal images and aligning them with the point cloud

The cloud, composed of millions of points with specific spatial coordinates, represents rich material for analysis. It was decided to supplement the research with thermal imaging data. An additional parameter was the colour representation of various temperature levels within the camera's frame. Figure 10 presents an example of the identified elements of tunnel equipment with higher temperatures. Numerous thermograms were taken during field studies with supplementary laser scans (Fig. 11 and 12). The data was later aligned to obtain the spatial representation of objects along with a thermal information overlay (Fig. 13).

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.18



Ryc. 9. Widok z góry z chmury punktów. Przedstawia cały zakres skanowania od Ronda Mogilskiego aż po ul. Kamienną
Fig. 9. Top view based on the point cloud. It presents the whole scanned area from the Mogilskie Roundabout to Kamienna Street
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

tunel. Może być ona użyteczna zarówno w kompleksowej i ogólnej orientacji na obiekcie ale także do prowadzenia wielkoskalowych badań.

3.2.2 Opracowanie obrazów termowizyjnych i połączenie ich z chmurą punktów

Chmura, złożona z milionów punktów o określonych współrzędnych przestrzennych, stanowi bogaty materiał analityczny. W badaniach postanowiono poszerzyć informacje o dane pochodzące z kamery termowizyjnej. Dodatkowym parametrem była kolorystyczna reprezentacja różnych poziomów temperatur w rejestrowanym kadrze kamery. Na rycinie 10 został zaprezentowany przykład zidentyfikowanych elementów wyposażenia tunelu o podwyższonej temperaturze. W trakcie badań terenowych wykonano liczne zdjęcia termograficzne oraz uzupełniające je pomiary skanerem laserowym (ryc. 11 i 12). Następnie połączono te dane, uzyskując przestrzenną reprezentację obiektów wraz z nałożoną informacją o ich rozkładzie termicznym (ryc. 13).

W pracach kameralnych przeprowadzono kalibrację obrazów termowizyjnych z kamery FLIR S60 do stanowisk skanera, z których pomierzono wybrane obiekty. Kalibracja wymagała zdefiniowania punktów transformacji zewnętrznej obrazu. Konieczne było wskazanie co najmniej sześciu punktów wspólnych pomiędzy termogramem a chmurą punktów. W ten sposób uzyskano lokalizację przestrzenną i kompletną informację geometryczną dla widma termicznego badanych obiektów.

3.2.3 Opracowanie przestrzennego modelu 3D

W trakcie dalszych prac wykonano modele przestrzenne 3D elementów systemu przeciwpożarowego oraz urządzeń towarzyszących. Pomiary termowizyjne wskazały miejsca o podwyższonej temperaturze. Te z kolei mogły być potencjalnym źródłem pożaru. Dla wyselekcjonowanych obiektów przygotowano modele 3D (ryc. 14). W pracach zastosowano dedykowaną aplikację Cyclone firmy Leica. Narzędzie służy do pracy na chmurach liczących miliony punktów. Umożliwia budowę przestrzennych obiektów bryłowych (ryc. 15). Otrzymany w ten sposób model może być przekonwertowany do dowolnego środowiska CAD, m.in. oprogramowania firm: Autodesk, Bentley, Intergraph i innych.

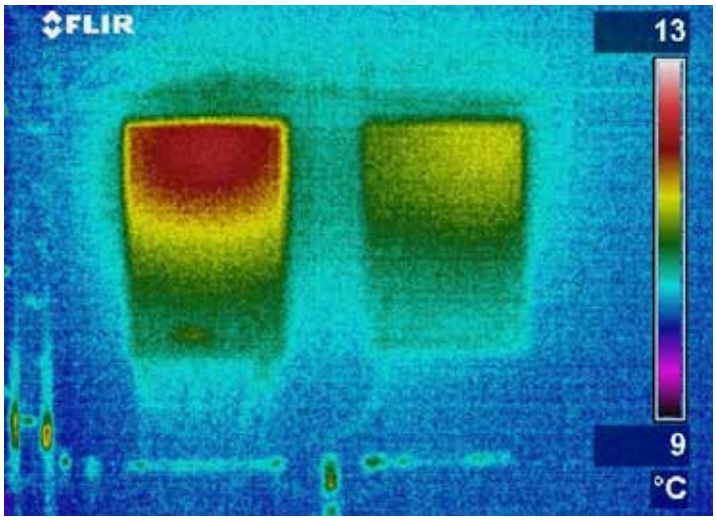
The office work also involved the calibration of thermograms from the FLIR S60 camera with the scanner vantage points used to measure the selected objects. This calibration required defining the external transformation points of the image. This required at least six shared points between the thermogram and the point cloud to be indicated and resulted in obtaining the spatial location and complete geometric information for the thermal spectrum of the surveyed objects.

3.2.3. Producing a 3D model

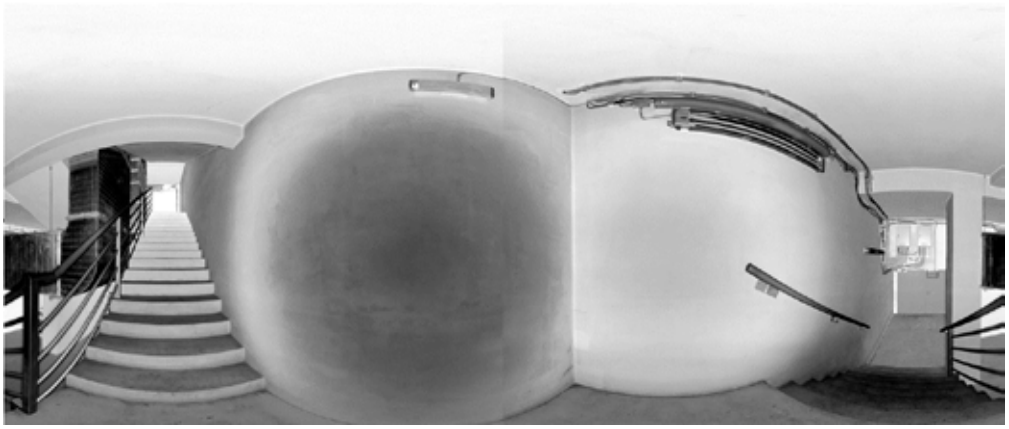
Further work included the production of 3D models of elements in the fire protection system and related devices. Thermal measurements allowed the identification of locations with elevated temperatures, representing potential fire hazards. 3D models were produced for the selected objects (Fig. 14). Leica's dedicated application, Cyclone, was used in the processing. This tool is designed for working with clouds made up of millions of points. It allows the construction of 3D solids (Fig. 15). The resultant model can be converted to any CAD environment, e.g. Autodesk, Bentley, Intergraph and other software suites.

Point-cloud based 3D models can be created manually from scratch or with partial assistance from the application. In recent years a number of algorithms and applications allowing the automatic creation of geometric elements have been released. These are usually confined to the modelling of a limited selection of elements, such as piping, or require additional corrections and data verification [15]. Regardless of the point cloud generalisation method, it is important to realise that this procedure involves the simplification and reduction of information. This has both its advantages and drawbacks, depending on the industry or expected outcome. A 3D model and its parameters has a number of valuable advantages over a point cloud, including:

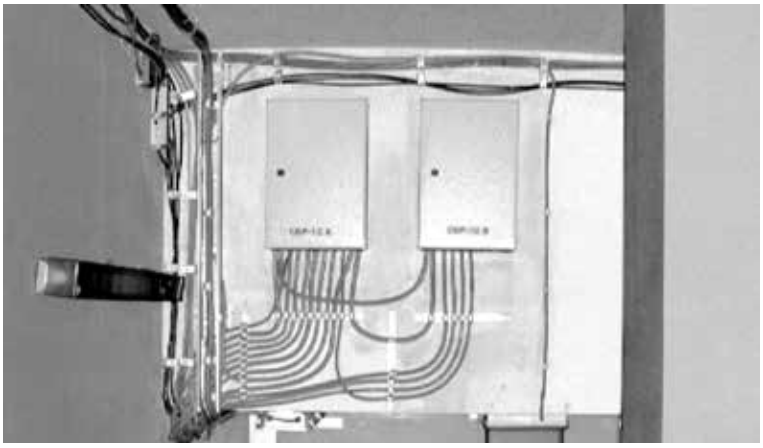
- Less complex geometry of the represented objects,
- Faster rendering in CAD applications,
- Much smaller file size,
- Greater compatibility with CAD applications,
- Spatial analysis capabilities for processing in specialised engineering systems (e.g., explosion analysis, flow analysis and performance studies).



Ryc. 10. Widok termogramu (dwie skrzynie elektryczne, gdzie ta po lewej stronie jest wyraźnie cieplejsza)
Fig. 10. Thermogram view (two electrical boxes, the one on the left is substantially warmer)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

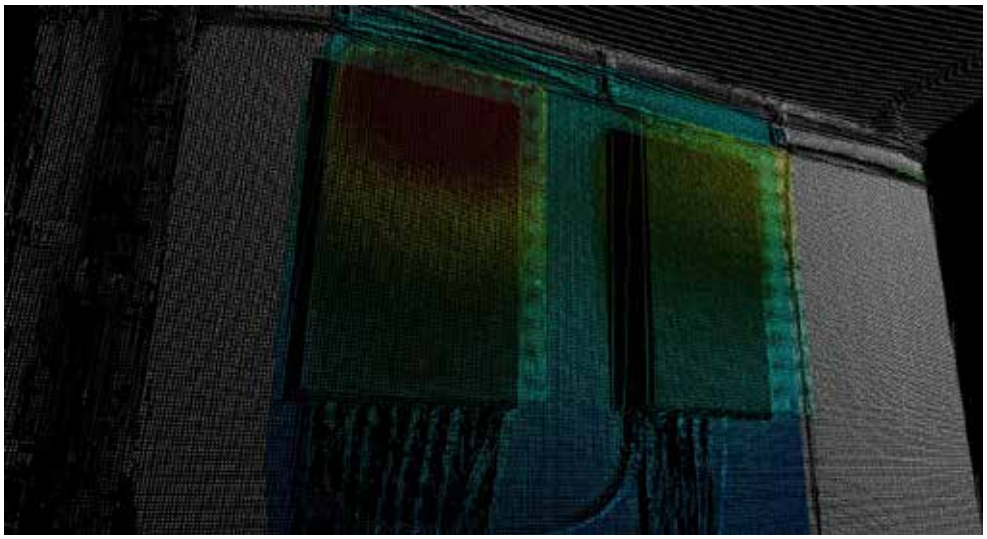


Ryc. 11. Widok płaski chmury punktów pojedynczego stanowiska skanera w skali szarości przedstawiający fragment tunel KST (klatka schodowa systemu ewakuacji wraz z systemem wentylacji po lewej i skrzyniami elektrycznymi po prawej stronie)
Fig. 11. Flat view of the point cloud from a single scan vantage point in grayscale from the KST tunnel (a staircase in the evacuation system and the ventilation system on the left and electrical boxes on the right side)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 12. Widok elektrycznych skrzyń rozdzielczych z chmury punktów w skali szarości (powiększenie skanu zaprezentowanego na Ryc. 11, na podstawie termogramu skrzynia po lewej stronie wyraźnie cieplejsza)
Fig. 12. View of electrical switchboards together with point clouds in grayscale (a zoomed image of the items presented in Figure 11, based on a thermogram, box on the left substantially warmer)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.18



Ryc. 13. Obraz przedstawiający chmurę punktów wraz ze skalibrowanym termogramem
Fig. 13. Image from a point cloud together with a calibrated thermogram
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Przygotowanie modelu 3D w oparciu o chmurę punktów może być realizowane w pełni manualnie lub też z częściowym wspomaganiem ze strony aplikacji. W ostatnich latach pojawiły się algorytmy i aplikacje umożliwiające automatyczne tworzenie elementów geometrycznych. Są one zwykle ograniczone do modelowania wąskiego zakresu elementów, takich jak orurowanie lub też wymagają dodatkowej pracy w zakresie korekt i weryfikacji danych [15]. Niezależnie od sposobu generalizacji chmury punktów należy mieć świadomość, że jest to procedura związana z uproszczeniem i zmniejszeniem informacji. Takie postępowanie może być zarówno zaletą, jak i wadą – w zależności od branży lub oczekiwanego efektu. Model 3D i jego parametry w porównaniu do chmury punktów ma kilka cennych walorów, do których należy zaliczyć:

- mniej skomplikowana geometria reprezentowanej przestrzeni,
- płynniejsze działanie w aplikacjach CAD,
- znacznie mniejszy rozmiar na dysku,
- większa kompatybilność z aplikacjami CAD,
- możliwość wykonywania analiz przestrzennych w specjalistycznych systemach inżynierskich (np. analizy wybuchów, analizy przepływów i wydajności systemów).

3.2.4. Publikacja danych online

Na podstawie kompletnej chmury punktów, uzupełnionej o skalibrowane termogramy oraz modele 3D elementów tunelu i jego wyposażenia, przygotowano dane do publikacji. Publikacją określa się proces eksportu danych w formacie pozwalającym na ich udostępnianie i współdzielenie przez internet, a także umieszczenie ich na specjalnym serwerze dostępnym online. Dzięki temu potencjalni użytkownicy uzyskują wygodny dostęp do dokumentacji trójwymiarowej. Ponadto mogą wspólnie pracować na tych samych danych. Możliwe jest również współdzielenie dodawanych komentarzy, wykonywanie zgrubnych pomiarów przestrzennych z użyciem przeglądarki i ich dalsze udostępnianie czy zapisywanie w pamięci systemu. Narzędzie to jest także łatwe i wygodne w użytkowaniu. Część funkcjonalności jak na przykład wirtualne wycieczki i zdjęcia sferyczne z ulic są podobne do udostępnianych obecnie przez Google i inne firmy (ryc. 16) [16]. Jest jednak jedna istotna różnica. W rozwiązaniach wirtualnych firmy Google nie ma możliwości wykonywania pomiarów na obrazach sferycznych w przeciwieństwie

3.2.4. On-line data publication

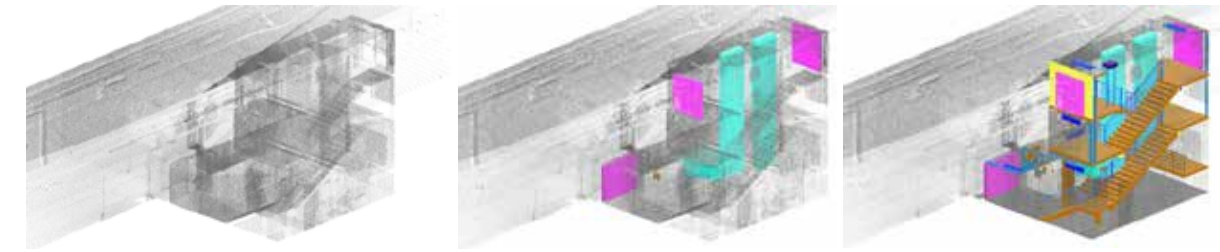
The complete point cloud, together with calibrated thermograms and 3D models of the tunnel elements and its equipment, served as the basis for publication data. Publication is the process of exporting data in a format that allows on-line presentation and sharing, and also uploading on a dedicated on-line server. This is a convenient way of accessing 3D documentation for potential users. This also allows teams to work on the same set of data. Other features include posting comments, performing rough spatial measurements in the browser and their further sharing or saving in the system memory. The tool is easy and user-friendly. Some of its functions, such as virtual tours and spherical panoramas of streets are similar to those provided by Google and other companies (Fig. 16) [16]. However, there is an important difference. Google's virtual solutions do not allow measurements on spherical images, a feature available in online point cloud viewing tools (Fig. 17).

Figures 16 and 17 present published scans in grayscale. Rough measurements can be performed on them, and comments and other markers can be added directly on the displayed images. To view the data and to take advantage of the system's features, you only need a computer with a web browser, an Internet connection and an assigned log-in and password. Publishing colour point clouds and combinations of three-dimensional models and scans are also possible, as shown in Fig 18.

On-line data sharing and exchange brings a number of new opportunities. Above all, it allows the visualising of results and information on any Internet-enabled device. It is also possible to display spherical panoramas by means of virtual reality devices, or VR headsets, which convert and display the image for each eye individually. This is possible with a smartphone with an additional headset. This solution immerses the user in the virtual environment and allows an even greater insight into the collected data.

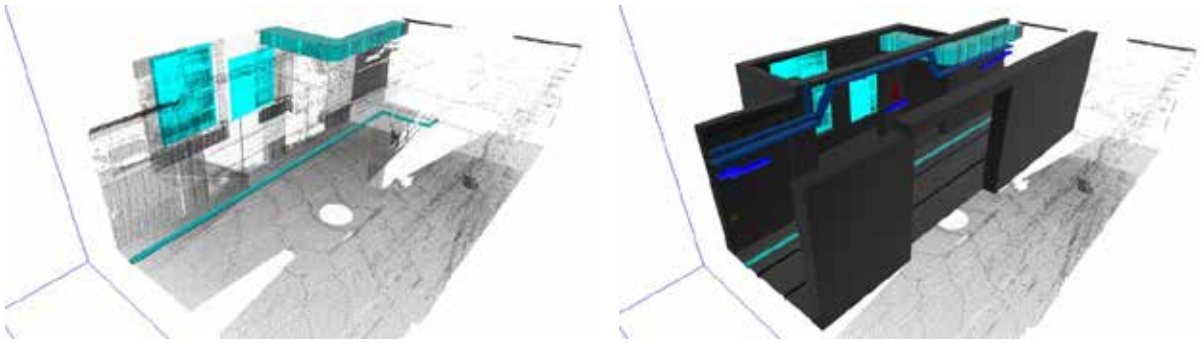
4. Summary and conclusions

In measurements of long structures, the time required to perform the task and the costs involved play an important role. Access to the surveyed structure is often restricted. This is related to the long distance to the object, the mutual occlu-



a b c

Fig. 14. Zestaw widoków perspektywicznych prezentujących klatkę ewakuacyjną: a) samą chmurę punktów, b) chmurę punktów z zamodelowanym system wentylacji i drzwi, c) chmura punktów oraz model wraz z schodami i podestami
Fig. 14. A set of perspective views showing the escape route: a) point cloud only, b) point cloud with a modelled ventilation system and escape doors, c) point cloud with a 3D model of the staircase and floor)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



a b

Ryc. 15. Zestaw widoków perspektywicznych prezentujących fragment tunelu z systemem klap przeciwdymowych: a) chmura punktów z zamodelowanym system wentylacji i klap przeciwdymowych, b) model uzupełniony o ściany, podłogę wraz z torami i systemem odwodnienia oraz elementami tras eklektycznych i oświetlenia.
Fig. 15. A set of perspective views showing a part of the tunnel with smoke dampers: a) point cloud with a ventilation system and smoke damper models, b) a 3D model featuring walls, floor, rails, drain system, cable routes and lights)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

do możliwości, jakie niosą ze sobą narzędzia do przeglądania online chmur punktów (ryc. 17).

Na rycinach 16 i 17 zaprezentowano publikacje skanów w odcieniach szarości. Możliwe jest prowadzenie na nich zgrubnych pomiarów, a także dołączanie komentarzy czy innych oznaczeń wprost na wyświetlanych obrazach. Wgląd do danych i możliwość zastosowania poszczególnych funkcji wymaga dostępu do komputera z przeglądarką internetową, dostępem do internetu, a także nadanym loginem i hasłem. Istnieje także możliwość publikacji kolorowych chmur punktów oraz kombinacji modeli trójwymiarowych wraz ze skanami, jak to zostało przedstawione na rycinie 18.

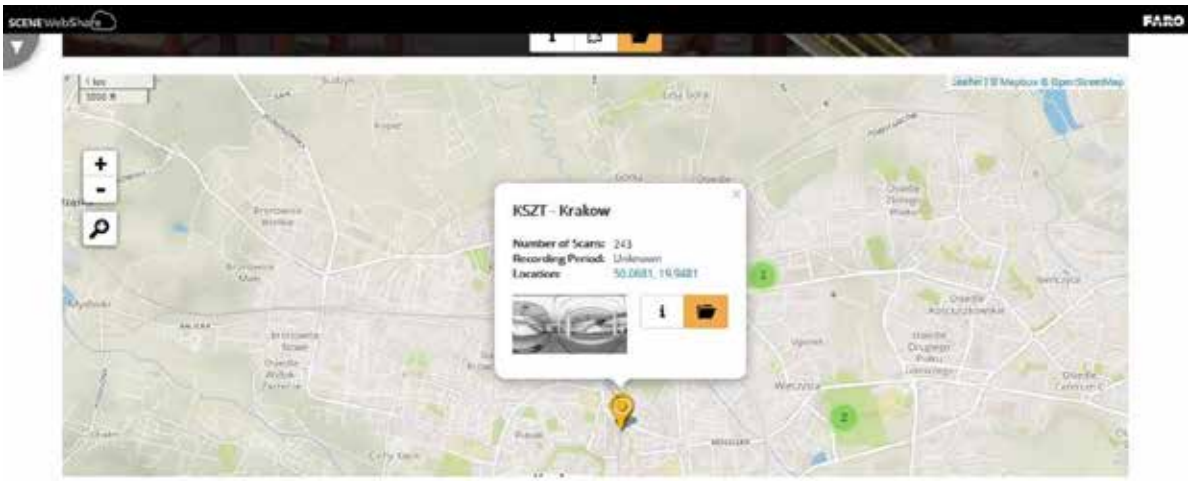
Udostępnienie i wymiana danych przez internet stwarza szereg nowych możliwości. Przede wszystkim pozwala na wizualizację wyników i informacji na dowolnym urządzeniu posiadającym dostęp do internetu. Istnieje także możliwość wyświetlania prezentowanych widoków sferycznych na urządzeniach wirtualnej rzeczywistości, tj. okularach wirtualnych, w których obraz jest odpowiednio konwertowany i wyświetlany dla każdego oka niezależnie. W tym celu możliwe jest wykorzystanie smartfona doposażonego w odpowiedni zestaw soczewek okularowych. Korzystając z takiego rozwiązania, użytkownik zyskuje wrażenie przebywania wewnątrz wirtualnego środowiska i może jeszcze pełniej spożytkować zebrane informacje.

sion of objects or the lack of illumination. There are also occasional safety considerations relating to performing measurements of live wires or objects in operation. These difficulties are connected with surveys of transport routes, tunnels and utilities. Ground-based laser scanning is increasingly being used in surveying such objects and structures. This modern method offers non-contact, quick, high-resolution and accurate measurements.

One application of laser scanning is the evaluation of the technical condition, structure and geometry of transport tunnels which require periodic surveying. The data obtained from the scan can also be used to identify, survey and assess the technical condition and determine the geometric parameters of fire protection system components in tunnels. Thermal imaging is an excellent companion to spatial point clouds. Images obtained from thermal vision cameras show the potential short circuit and fire hazards in real time. The transformation of thermograms into a point cloud allows the construction of 3D models and the generation of databases for facility and fire protection infrastructure management.

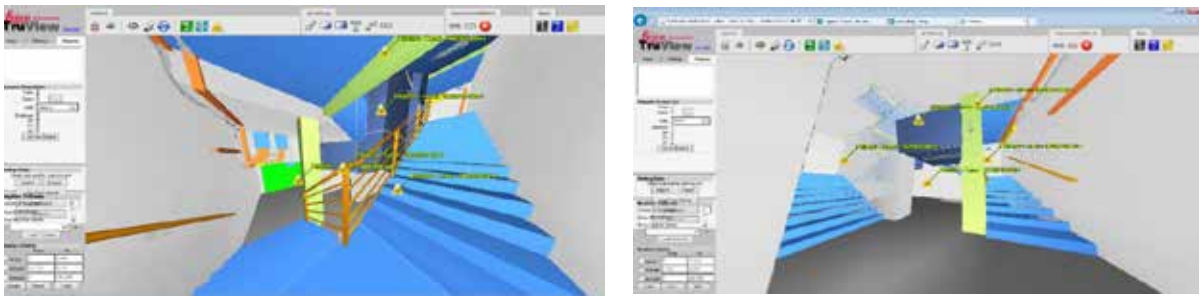
The capability of the presented technologies to create a detailed map of the surveyed structure make a virtual technical inspection of the analysed facility equally useful to real field visits. The advantages of this technology include saved time and funds and safety and ease of work. It is possible to

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.18



Ryc. 16. Widok z portalu internetowego – mapa ze zlokalizowaną publikacją skanowania laserowego z tunelu [17]
Fig. 16. A view of the web portal – the location of tunnel laser scanning publication on the map [17]

Fig. 17. Widok z portalu internetowego – pojedynczy skan z okolic przystanku Dworzec Główny. Na widoku zaznaczone pomiary oraz adnotacje [17]
Fig. 17. A view of the web portal – a single scan from the Dworzec Główny Station. There are measurements and annotations marked on the view [17]



Ryc. 18. Widoki z portalu internetowego – pojedyncze skany z ewakuacyjnej klatki schodowej wraz z modelem trójwymiarowym. Na widokach zaznaczone pomiary oraz adnotacje wykonane poprzez przeglądarkę.
Fig. 18. A view of the web portal – single scans from the escape staircase, together with a 3D model. There are measurements and annotations made by the web browser
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

4. Podsumowanie i wnioski

W pomiarach obiektów liniowych dużą rolę odgrywa czas potrzebny do zrealizowania zadania i związane z nim koszty. Często dostęp do inwentaryzowanego obiektu jest ograniczony. Jest to związane ze: znaczną odległością do obiektu, wza-

eliminate or reduce the number of field visits to the required minimum. However, data relevance should be taken into account. Point clouds, as with all other survey results, represent the state as at the time of measurement. For this reason, any presentation of results should include a time reference. Another issue to be considered in working with point clouds is

jemnymi przesłonięciami lub brakiem oświetlenia. Zdarzają się także problemy związane z bezpieczeństwem i odnoszą się do pomiaru przewodów pod napięciem lub obiektów w trakcie eksploatacji. Wspomniane niedogodności występują w trakcie pomiarów tras komunikacyjnych, tuneli i uzbrojenia terenu. W inwentaryzacji wymienionych obiektów coraz częściej stosowana jest technologia naziemnego skaningu laserowego. Za wyborem tej nowoczesnej metody przemawia bezdotykowy, szybki, wysokorozdzielczy i precyzyjny pomiar obiektów.

Jednym z zastosowań skaningu laserowego jest ocena stanu technicznego, konstrukcji i geometrii tuneli komunikacyjnych, które wymagają okresowych pomiarów inwentaryzacyjnych. Pozyskane w trakcie pomiaru dane można także zastosować do: rozpoznania, inwentaryzacji, oceny stanu technicznego i wyznaczenia parametrów geometrycznych elementów tworzących systemy przeciwpożarowe w tunelach. Znakomitym uzupełnieniem przestrzennych chmur punktów jest obraz termowizyjny. Zarejestrowane za pomocą kamer termowizyjnych obrazy termalne obiektów ukazują na bieżąco potencjalne miejsca zwarć i pożaru. Transformacja termogramów do chmury punktów umożliwia budowę modeli 3D i tworzenie baz danych do zarządzania obiektem i infrastrukturą przeciwpożarową.

Możliwości prezentowanych technologii w detalicznym odwzorowaniu inwentaryzowanego obiektu sprawiają, że wirtualna wizyta techniczna w analizowanym obiekcie staje się konkurencyjna w porównaniu do bezpośrednich wizyt terenowych. Wśród atutów proponowanej technologii jest oszczędność czasu i nakładów finansowych oraz bezpieczeństwo i komfort pracy. Możliwe jest wyeliminowanie lub zredukowanie do niezbędnego minimum wizyt terenowych. Należy mieć jednak na uwadze aktualność danych. Chmura punktów, podobnie jak każdy inny wynik inwentaryzacji, jest aktualna w chwili wykonywania pomiaru. Z tego powodu prezentacja wyników powinna być odniesiona w czasie. Kolejnym zagadnieniem, na które należy zwrócić uwagę w trakcie pracy na chmurach punktów jest ich znaczny rozmiar i potrzebna do archiwizacji przestrzeń dyskowa. Obsługa tak dużych zbiorów danych pociąga za sobą konieczność posiadana wydajnych komputerów i specjalistycznego oprogramowania.

Artykuł opracowano w ramach badań statutowych nr 11.11.150.005 w 2016 roku na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska, AGH w Krakowie.

Literatura / Literature

[1] Lacroix D., *New French recommendations for fire ventilation inroad tunnels*, [in:] *9th International Conference on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels,* Aosta, Italy 1997.
[2] Sztarbała G., *Oddziaływanie wiatru na przepływ powietrza w tunelach drogowych wentylowanych naturalnie,* „Budownictwo i Architektura" 2013, 12, 157-164.
[3] Rozporządzenie MSWiA z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów (Dz. U. 2010 Nr 109, poz. 719).

their size and disk space needed for storage. Processing such huge data sets requires powerful hardware and dedicated software.

The article was written based on the statutory research no. 11.11.150.005 in 2016 at the AGH University of Science and Technology at the Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering.

[4] Ryż K., *Wybrane zagadnienia konstrukcyjno-technologiczne budowy pierwszego w Polsce Tunelu Tramwajowego*, „Górnictwo i Geoinżynieria" 2009, 3(1), 338-346.
[5] Promat International NV; 33 [dok. elektr.] *http://www.promat-tunnel.com/en/references/pl%20-%20tram%20tunnel* [dostęp: 15.06.2016].
[6] Jong-Suk Y., Myung S., Lee J.S., Kyu-sung L., *Feature extraction of a concrete tunnel liner from 3D laser scanning data,* "NDT & E International" 2009, 42(2), 97-105.
[7] Miah M.S., Uus M.A., Liatsis P., Roberts M.S., Twist M.S., Hovens M.M., Nardoni M.G. NDT, *Sensor Fusion: Optimisation of NDT Sensor Data Processing Strategies for Road Infrastructure Inspection*, [electr. doc.], https://blogs.city.ac.uk/fp7-rpbhealtec/files/2016/01/RPB_HealTec_UTSG_2016-1-2668woq.pdf [accessed: 15.06.2016].
[8] Lemmon T., *Tank inspection and calibration with 3D laser scanning*, 2011, 2-3, [electr. doc.], https://www.trimble.com/oil-gas-chemical/pdf/3DLaserScanning_TankInspectionAndCalibration_Whitepaper_18953_Oct11_ENG_LR.pdf [accessed: 15.06.2016].
[9] H. Chen, C. Ulianov, R. Shaltout, *3D Laser Scanning techniques for the inspection and monitoring of railway tunnels,* "Transport problems" 2015, 10, 2-3.
[10] Strach M., *Nowoczesne techniki pomiarowe w procesie modernizacji i diagnostyce geometrii torów kolejowych*, „Rozprawy, Monografie" 2013, t. 285.
[11] Madura H., Sosnowski T., Bieszczad G., *Termowizyjne kamery obserwacyjne – budowa, zastosowania i krajowe możliwości realizacji*, „Przegląd Elektrotechniczny" 2014, 90(9), 5-8.
[12] Łaciok Ł., Rybiński J., Szajewska A., *Wykorzystanie kamery termowizyjnej podczas gaszenia pożaru zakładu produkcyjnego*, BiTP Vol. 30 Issue 2, 2013, pp. 75-80.
[13] Lewińska P., *Integracja Numerycznego Modelu Terenu z powierzchniowym rozkładem temperatury*, rozprawa doktorska, AGH w Krakowie, 2016.
[14] Balaras C.A., Argiriou A.A., *Infrared thermography for building diagnostics*, "Energy and Buildings" 2002, 34(2), 171–183.
[15] Rabbani, T., *Automatic Reconstruction of Industrial Installations*, "Publication on Geodesy of the Netherlands Geodetic Commission", Vol. 62, Phd thesis, TUDelft, Delft, the Netherlands 2006.
[16] Google Inc.; serwis internetowy, https://www.google.pl/maps/streetview/ [dostęp: 15.06.2016].
[17] Apply Capnor Poland Sp. z o.o.; serwis internetowy https://applycapnor.websharecloud.com [dostęp: 15.06.2016].

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania:
Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza – typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.18

* * *

mgr. inż. Piotr Dronszczyk – menedżer operacyjny w firmie Apply Capnor Poland. Absolwent Akademii Górniczo-Hutniczej Wydziału Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska oraz Wydziału Fizyki i Techniki Jądrowej na tej samej uczelni. Obszary zainteresowań naukowych: nowoczesne techniki pomiarowe, skanowanie laserowe, fotogrametria, wysokorozdzielcza fotografia sferyczna, rzeczywistość wirtualna oraz rzeczywistość rozszerzona, wsparcie projektowania inżynierskiego, big data.
Piotr Dronszczyk, **M.Sc. Eng**. – Operations Manager at Apply Capnor Poland. Graduated from the AGH University of Science and Technology in Kraków, the Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering and the Faculty of Physics and Nuclear Technology. Scientific interests: modern survey techniques, laser scanning, photogrammetry, high-resolution spherical photography, virtual reality and augmented reality, engineering design support, big data.

dr hab. inż. Michał Strach – zatrudniony w Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie na Wydziale Geodezji Górniczej i Inżynierii Środowiska w Katedrze Geodezji Inżynieryjnej i Budownictwa. Zainteresowania: wykorzystanie nowoczesnych technologii pomiarowych w geodezji inżynieryjno-przemysłowej, autorskie systemy pomiarowe i przyrządy do diagnostyki nawierzchni szynowej, zastosowanie skanerów laserowych, instrumentów typu Total Station, systemów GPS/GNNS w pomiarach i projektowaniu obiektów inżynieryjnych ze szczególnym uwzględnieniem tras szynowych.
Michał Strach, Ph.D. – employed at the AGH University of Science and Technology in Kraków at the Faculty of Mining Surveying and Environmental Engineering, Geodetic Engineering and Construction Department. Interests: the use of modern survey technologies in geodetic engineering, customised survey systems and devices for rail surface diagnostics, the application of laser scanners, Total Station instruments, GPS/GNNS systems in surveying and designing engineering structures with particular focus on rail routes.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 215–222

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.19

prof. dr hab. inż. **Stanisław Nawrat**[1]
dr inż. **Natalia Schmidt-Polończyk**[1]
mgr inż. **Sebastian Napieraj**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 29.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 22.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Możliwości stosowania technologii oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń gazowych w tunelach drogowych[2]

Possibility of Using Air Purification Technology From Gas Pollution in Road Tunnels

Возможность использования технологии очистки воздуха от газовых загрязнений в дорожных туннелях

ABSTRAKT

Cel: Budowa tuneli drogowych szczególnie na terenach zurbanizowanych pozwala zmniejszyć emisję zanieczyszczeń gazowych w miejscu wybudowanego tunelu, ale jednocześnie powoduje znaczne zwiększenie stężeń tych zanieczyszczeń w rejonie wylotu zużytego powietrza z tunelu. W artykule przedstawiono symulację rozprzestrzeniania się ditlenku azotu pochodzącego ze spalin samochodowych w rejonie analizowanej ulicy oraz symulację zmiany jego stężeń w przypadku budowy tunelu z wentylacją wzdłużną bez systemu oczyszczania powietrza oraz z zabudowanym systemem oczyszczania powietrza. Przeprowadzono analizę skuteczności stosowania technologii oczyszczania powietrza wentylacyjnego z tuneli.

Wprowadzenie: Według raportów dotyczących jakości powietrza Polska należy do najbardziej zanieczyszczonych państw w Europie. Głównym powodem wysokiego stężenia zanieczyszczeń w powietrzu w miastach są emitowane spaliny samochodowe. Jedną z metod ograniczenia zawartości zanieczyszczeń stałych i gazowych w powietrzu w miastach jest budowa drogowych tuneli komunikacyjnych. Rozwiązanie to powoduje znaczne zmniejszenie emisji zanieczyszczeń, szczególnie gazowych w obszarze tunelu. Niemniej jednak odprowadzane powietrze wentylacyjne z tunelu generuje lokalnie w rejonach wylotów z tuneli podwyższony poziom stężenia zanieczyszczeń. Na świecie stosowane są systemy oczyszczania dużych strumieni powietrza wentylacyjnego tuneli z zanieczyszczeń stałych i gazowych – przykładami są tunele Mont Blanc w Alpach łączący Chamonix we Francji z Courmayeur we Włoszech oraz tunel M30 w Madrycie. W takich tunelach powietrze wentylacyjne jest oczyszczane przed jego usunięciem do atmosfery.

Metodologia: W celu zbadania wpływu tunelu drogowego na poziom stężenia wybranych zanieczyszczeń w powietrzu wybrano koncepcyjną lokalizację budowy tunelu drogowego w Warszawie w ciągu ulicy Wawelskiej. Emisja wybranych zanieczyszczeń gazowych pochodzących ze spalin silników samochodowych do atmosfery została zamodelowana nowoczesnym oprogramowaniem Computational Fluid Dynamics. W tym zakresie przeprowadzono analizę trzech przypadków: stanu istniejącego w rejonie ulicy Wawelskiej (ruch pojazdów ciągiem drogowym), budowy tunelu z wentylacją wzdłużną bez oczyszczania powietrza wentylacyjnego z tunelu oraz budowy tunelu z wentylacją wzdłużną z systemem oczyszczania powietrza z tunelu. Następnie wyniki badań stężeń zanieczyszczeń w powietrzu dla analizowanych przypadków zostały porównane.

Wnioski: Rezultaty analiz numerycznych zestawione z przeprowadzonymi przez pracowników Politechniki Warszawskiej wynikami badań stężeń zanieczyszczeń powietrza w rejonie ulicy Wawelskiej w Warszawie potwierdziły przyjęte założenia dotyczące modelowania numerycznego stanu obecnego. Efekty analiz dotyczących prognozowanego stężenia zanieczyszczeń w powietrzu dla wariantu budowy tunelu bez systemu oczyszczania powietrza wykazały znaczne zmniejszenie zanieczyszczeń w rejonie ulicy Wawelskiej oraz spore przekroczenia dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń przy wylotach z portali tuneli. Ponadto wyniki badań numerycznych potwierdziły, że budowa tunelu wraz z systemem oczyszczania powietrza wentylacyjnego jest najkorzystniejszym rozwiązaniem prowadzącym do zmniejszenia poziomu zanieczyszczeń w rejonie ulicy Wawelskiej w Warszawie.

Słowa kluczowe: tunel, wentylacja tuneli, oczyszczanie powietrza, zanieczyszczenia.
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: Road tunnel construction, especially in urban areas, leads to the reduction in the emission of solid and gaseous pollutants within the area of the constructed tunnel, and at the same time to a significant increase in the concentration of this pollution in the areas where the exhaust

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza / AGH University of Science and Technology; nawstan@agh.edu.pl;
[2] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.19

air is discharged from the tunnel. The article presents a simulation of how nitrogen dioxide coming from car exhaust spreads in the area of the analyzed street and a simulation of changes in its concentration in the case of tunnel building with longitudinal ventilation with and without air purification system. At the same time analysis of the effectiveness of using air purification technology in tunnels was carried out.
Introduction: Reports concerning air quality in Europe place Poland among the most polluted countries. Exhaust emission from cars is the main reason for the high concentration of air pollutants in cities. Construction of road tunnels is one of the methods to reduce the content of solid and gaseous pollutants in the air in cities. This solution leads to a significant reduction in the emission of pollutants, especially gaseous ones, within the area of a tunnel; however, the ventilation air discharged from the tunnel generates locally, in the areas of tunnel portals, an increased concentration level of solid and gaseous pollutants. All over the world, in city tunnels, systems of purifying large volumes of ventilation air streams from solid and gaseous pollutants are used – examples are Mont Blanc tunnel in Alps connecting Chamonix in France and Courmayeur in Italy and the M30 tunnel in Madrid, where ventilation air from the tunnels is purified before it is removed to the atmosphere.
Methodology: In order to study the impact of a road tunnel on the concentration levels of selected air pollutants, a location included in the conceptual design of a road tunnel in Warsaw, along Wawelska Street, was selected. The emission of selected gaseous pollutants from car engines was modelled using Computational Fluid Dynamics for the current situation on Wawelska Street (vehicle traffic on the road), for the construction of a tunnel with a longitudinal ventilation without an air purification system, and for the construction of a tunnel with longitudinal ventilation with an air purification system. The levels of air pollution concentration for the analysed cases were juxtaposed with one another.
Conclusions: The comparison of the results of numerical analyses with the results of the air pollution concentration study in the area of Wawelska street in Warsaw, which was conducted by the Warsaw University of Technology staff, confirmed the adopted numerical modelling assumptions for the current state. The results of the analyses concerning the predicted concentration of air pollution in the variant of tunnel construction without an air purification system showed a significant reduction in pollution in the area of Wawelska Street and largely exceeded pollution concentration limits in the area of the tunnel portals. Moreover, the results of numerical analyses confirmed that the construction of a tunnel with an air purification system was the most favourable solution, leading to the reduction of pollution in the area of Wawelska Street in Warsaw.

Keywords: tunnel, tunnel ventilation, air purification, pollutants
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Строительство автодорожных туннелей, особенно в городских районах, позволяет уменьшить количество выбросов газовых загрязнений в месте построенного туннеля, но одновременно значительно увеличивает концентрацию этих загрязнений около места выброса отработанного воздуха из туннеля. В статье представлено моделирование распространения диоксида азота, поступающего из автомобилей в районе анализируемой улицы, а также моделирование изменений его концентрации в случае построения туннеля с системой продольной вентиляции без системы очистки воздуха и туннеля с встроенной системой очистки воздуха. Проведен анализ эффективности использования технологии очистки вентиляционного воздуха из туннелей.
Введение: Согласно отчетам по качеству воздуха в Европе, Польша является одной из наиболее загрязненных стран. Основной причиной высокой концентрации загрязнения воздуха в городах являются выхлопные газы автомобилей. Одним из способов уменьшения содержания стойких и газовых веществ в воздухе в городах является постройка автодорожных туннелей. Это решение приводит к значительному сокращению выбросов, в частности газа, в районе туннеля. Однако, выделяемый вентиляционный воздух, выходящий из туннеля, местно генерирует в районе его выбросов повышенные концентрации загрязнений. В мире используются системы для очистки больших потоков вентиляционного воздуха туннелей от стойких загрязняющих веществ и газов - примерами являются туннели Монблан в Альпах, который соединяет Шамони во Франции и Курмайор в Италии, а также туннель М30 в Мадриде. В таких туннелях вентиляционный воздух перед выбросом в атмосферу проходит очистку.
Методология: Для изучения влияния автодорожного туннеля на уровень концентрации отдельных вредных веществ в воздухе было выбрано проектное местоположение строительства автодорожного туннеля в Варшаве на улице Вавельской. Выброс в атмосферу отдельных газовых загрязнений из выхлопных газов автомобильных двигателей был смоделирован с использованием современного программного обеспечения CFD. В связи с этим был проведен анализ 3 следующих случаев: текущей ситуации в районе улицы Вавельской (движение машин на улице), постройки туннеля с системой продольной вентиляции без очистки вентиляционного воздуха и постройки туннеля с системой продольной вентиляции с очисткой воздуха, выходящего из туннеля. Затем результаты испытаний концентрации загрязняющих веществ в анализируемых случаях были сопоставлены друг с другом.
Выводы: Результаты численного анализа в сравнении с результатами исследований концентрации загрязнений в районе улицы Вавельской в Варшаве, проведенными сотрудниками Варшавского политехнического университета, подтвердили принятые предположения, касающиеся численного моделировании текущей ситуации. Результаты анализа прогнозируемой концентрации загрязнений в воздухе для варианта постройки туннеля без системы очистки воздуха показали значительное снижение уровня загрязнения в районе улицы Вавельской и большое превышение допустимых концентраций вредных веществ при выездах из туннеля. Кроме того, результаты численных исследований подтвердили, что строительство туннеля вместе с системой очистки вентиляционного воздуха является наилучшим решением, которое приведет к снижению уровня загрязнения в районе улицы Вавельской в Варшаве.

Ключевые слова: туннель, вентиляция туннеля, очистка воздуха, загрязнение
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Rozwój infrastruktury miejskiej i związane z nim wysokie natężenie ruchu drogowego w miastach spowodowały wzrost poziomu zagrożeń środowiskowych na terenach zurbanizowanych. Dotyczy to przede wszystkim zagrożeń o charakterze chemicznym (zanieczyszczenia powietrza) oraz fizycznym (hałas, wibracje).

W celu zmniejszenia wpływu uciążliwych dla mieszkańców miast zagrożeń środowiskowych związanych z ruchem pojazdów samochodowych budowane są między innymi miejskie tunele drogowe.

Zanieczyszczenia w tunelach drogowych związane są najczęściej ze szkodliwymi gazami emitowanymi przez poruszające się w nich pojazdy samochodowe, nadmiernym wydzielaniem ciepła oraz pyłów. Dodatkowym czynnikiem, który wpływa na podwyższone stężenia zanieczyszczeń w tunelach, są zatory drogowe. Emisja spalin wynikająca

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 215–222
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.19

z ruchu pojazdów zależy od natężenia i płynności ruchu, typu silnika przejeżdżających przez tunele pojazdów, ich stanu technicznego, rodzaju paliwa i ukształtowania trasy. Spaliny w tunelu są rezultatem pracy silników samochodowych, w których następuje zamiana energii chemicznej na mechaniczną [1].

Za podstawowe substancje zanieczyszczające atmosferę, emitowane przez silniki spalinowe uważa się m.in.: tlenek węgla, węglowodory, aldehydy, sadzę, tlenki azotu, ditlenek azotu oraz ditlenek siarki. Ponadto przejeżdżające pojazdy generują także inne substancje zanieczyszczające atmosferę tunelu pochodzące np. ze zużywających się opon czy też olejów [1].

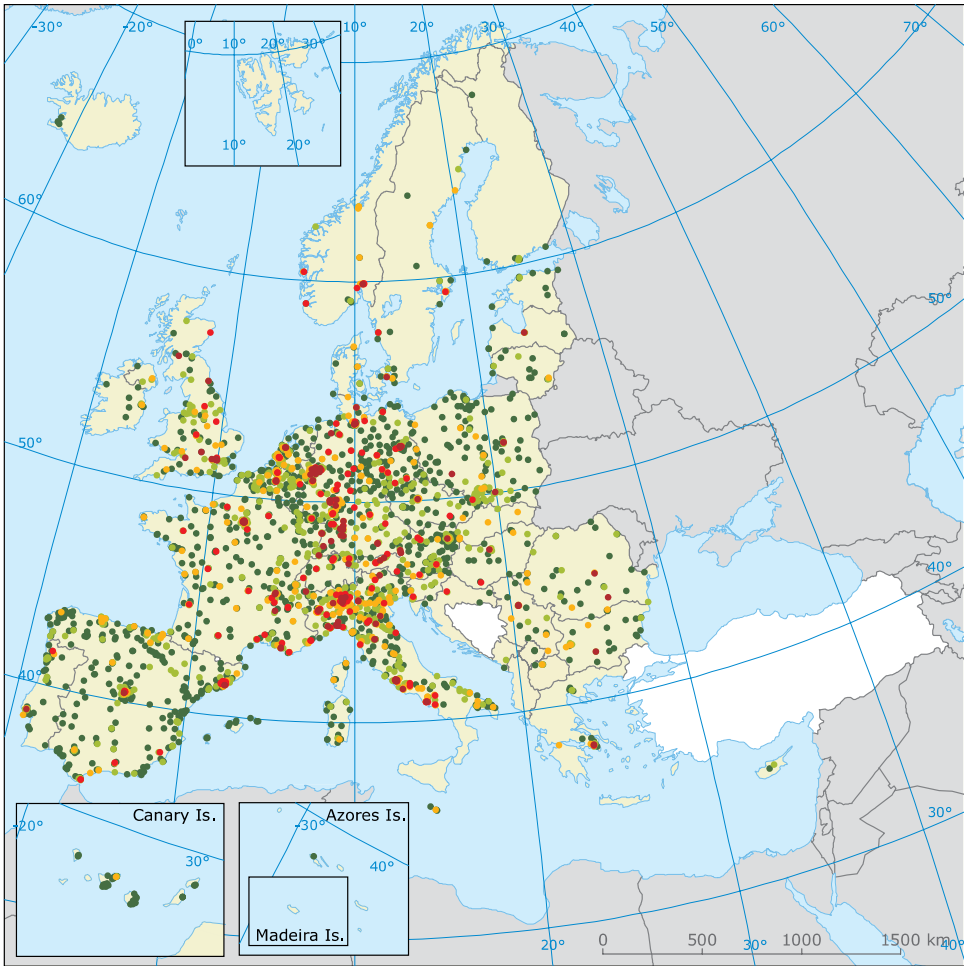
Wykonane badania jakości powietrza w UE [2-3] wykazały przekroczenie dopuszczalnych norm zanieczyszczenia powietrza, między innymi w zakresie emisji spalin samochodowych ditlenku azotu – ryc. 1.

Według Głównego Urzędu Statystycznego średni wiek samochodu w Polsce wynosi 15 lat (zob. tabela 1). Około 30% samochodów w tym wieku posiada silniki wysokoprężne. Pojazdy te emitują znaczne ilości zanieczyszczeń do powietrza i wpływają na przekroczenie dopuszczalnych poziomów zanieczyszczeń [5].

2. Budowa tuneli w celu zmniejszenia zagrożeń środowiskowych

Wykonywane badania jakości powietrza w Warszawie potwierdzają przekroczenie dopuszczalnych stężeń związków gazowych i stałych. Jednym z miejsc, w których zanotowano przekroczenie, jest rejon ulicy Wawelskiej. Prowadzone przez pracowników Politechniki Warszawskiej [6] badania składu powietrza na tej ulicy wykazały wysokie stężenia między innymi ditlenku azotu (wynoszące ponad 100 μg/m³). Zmierzone zanieczyszczenia gazowe są zmienne w czasie i silnie skorelowane z natężeniem ruchu pojazdów (ryc. 2).

Natężenie ruchu pojazdów w dni robocze w ciągu ulicy Wawelskiej wynosi od ok. 20 do ok. 75 tys. pojazdów na dobę, a średnia prędkość ruchu pojazdów wynosi ok. 31 km/h. W związku z tym podejmowane są działania zmierzające do budowy tunelu, który miałby zmniejszyć wpływ zanieczyszczeń pochodzących od ruchu samochodowego w rejonie ulicy Wawelskiej na jej mieszkańców. Planowana długość tunelu wyniosłaby ok. 1000 m. Założono, że tunel będzie przewietrzany wentylacją wzdłużną, tj. świeże powietrze wentylacyjne będzie dopływało do tunelu całym przekrojem portalu wlotowego. Poprzez „efekt tłoka" przejeżdżających pojazdów lub/i zastosowanie wentylatorów typu „jet-fan" tłoczone będzie do portalu wylotowego, poprzez który razem z zanieczyszczeniami pochodzącymi z ruchu samochodowego, będzie emitowane do atmosfery (ryc. 3).

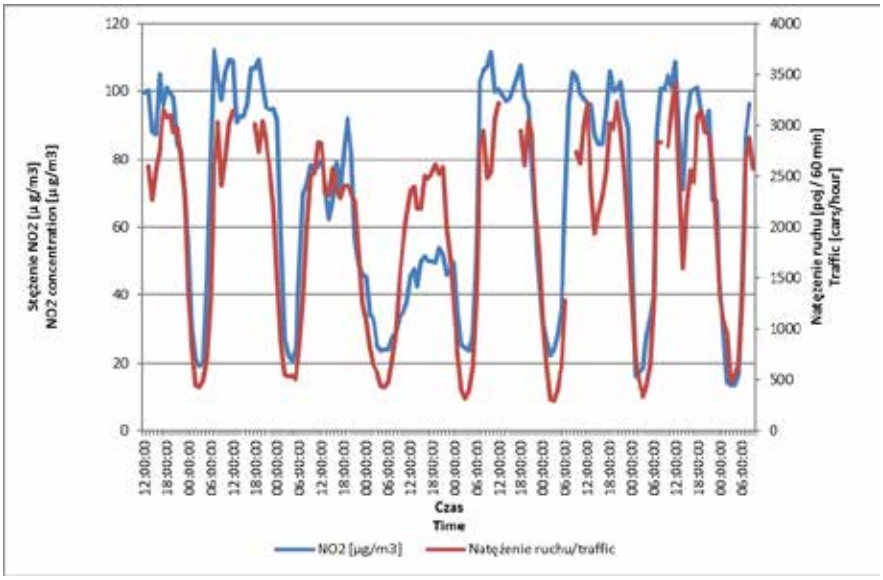


Ryc. 1. Roczne stężenie ditlenku azotu w 2013 r. wyrażone w [μg/m³]
(czerwone i ciemnoczerwone kropki wskazują stacje pomiarowe, na których został przekroczony dopuszczalny poziom średniorocznego stężania ditlenku azotu, określonego w prawodawstwie UE, wynoszącego 40 [μg/m³]) [4]
Fig. 1. Annual concentration of nitrogen dioxide in 2013 expressed in [μg/m³]
(red and dark-red dots indicate measuring stations where the annual average limit value for nitrogen dioxide, defined by EU regulations and amounting to 40 [μg/m³], was exceeded) [4]

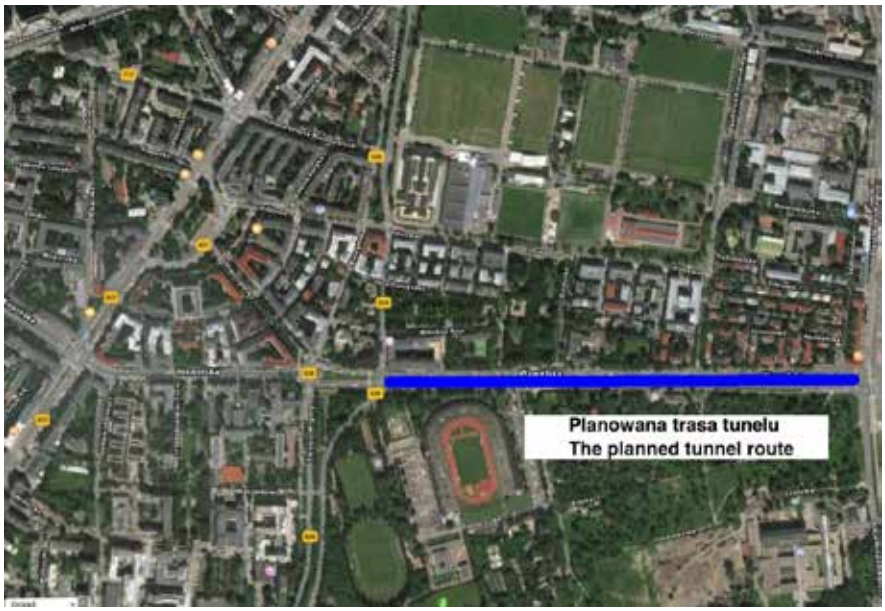
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.19

Tabela 1. Samochody osobowe, motocykle i motorowery według grup wiekowych – stan na rok 2014 [5]
Table 1. Passenger cars, motorcycles and mopeds, according to age group – 2014 levels [5]

L.p. / No.	Wiek / Age	Samochody osobowe [%] Passenger cars [%]
1	Do 1 roku/ Up to 1 year	2,6
2	2 lata/ 2 years	1,5
3	3 lata/ 3 years	1,7
4	4-5 lat/ 4-5 years	3,3
5	6-7 lat/ 6-7 years	5,6
6	8-9 lat/ 8-9 years	6,0
7	10-11 lat/ 10-11 years	7,7
8	12-15 lat/ 12-15 years	18,5
9	16-20 lat/ 16-20 years	21,8
10	21-25 lat/ 21-25 years	12,0
11	26-30 lat/ 26-30 years	7,1
12	31 i starsze/ 31 and older	12,2



Ryc. 2. Zależność stężenia NO_2 od natężenia ruchu pojazdów na ul. Wawelskiej [6]
Fig. 2. Correlation between NO_2 concentration and vehicle traffic on Wawelska Street [6]



Ryc. 3. Projektowana trasa tunelu pod ulicą Wawelską
Fig. 3. Planned tunnel route under Wawelska Street
Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem map Google: mapy.google.pl.
Source: Own elaboration with the use of Google maps: maps.google.com.

3. Metoda badawcza wykorzystana do oceny rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń gazowych

Do analizy skuteczności stosowania wybranych systemów wentylacji tuneli wykorzystywane są programy CFD m.in. jak w pracy [7]. Do wykonania badań rozpływu zanieczyszczeń gazowych związanych z ruchem pojazdów w rejonie ulicy Wawelskiej wykorzystano program Fire Dynamics Simulator (FDS) bazujący na numerycznej mechanice płynów (*ang. Computational Fluid Dynamics* – CFD). Modele CFD odzwierciedlają parametry danego obiektu lub zjawiska z dokładnością założoną przez projektanta. Pomimo coraz większych możliwości współczesnych komputerów, w akceptowalnym czasie udaje się osiągnąć jedynie przybliżone rozwiązania badanych problemów i zjawisk w dużej skali. Ze względu na złożoność rozważanego przypadku w przeprowadzonych symulacjach przyjęto pewne założenia upraszczające dotyczące między innymi: warunków atmosferycznych (przyjęto prędkość wiatru na poziomie 0 km/h), braku turbulencji powietrza wynikającej z ruchu pojazdów, niewystępowanie dodatkowych zanieczyszczeń powietrza pochodzących z innych źródeł.

Programy CFD opierają się na rozwiązywaniu równań Navier-Stokesa, które opisują powiązanie ze sobą wartości prędkości, ciśnienia, lepkości oraz gęstości poruszającego się płynu. Omawiane równania są rozszerzeniem równań Eulera, które uwzględniają lepkość płynu oraz bazują na trzech podstawowych zasadach: zachowania masy, zachowania pędu (druga zasada dynamiki Newtona) oraz zachowania energii (pierwsze prawo termodynamiki) [8]. W celu wyznaczenia konkretnych wielkości z tych równań używane są różne metody dyskretyzacji, takie jak: metoda skończonych objętości (*finite volume method*), metoda elementów skończonych (*finite element method*) oraz metoda różnic skończonych (*finite difference method*). W rozpatrywanym przypadku wykorzystano metodę objętości skończonych.

4. Przyjęte założenia emisji spalin przez pojazdy w rejonie ul. Wawelskiej

W celu wykonania obliczeń rozpływu zanieczyszczeń gazowych w rejonie ul. Wawelskiej przyjęto następujące założenia dotyczące emisji NO_x dla pojazdów samochodowych, wykonanych zgodnie z normami EURO [9]:

- ruch samochodowy – 75 000 poj./dobę [6],
- emisja NO_x dla samochodów z silnikiem spalinowym i diesla wraz z przyporządkowaniem procentowym grup wieku samochodów do odpowiedniej normy emisji – tabela 2.

W wyniku przeprowadzonych obliczeń uzyskano dzienną emisję ditlenku azotu pochodzącego ze spalin samochodowych dla badanego odcinka drogi o długości 1 km w wielkości 17 080 g.

5. Wpływ zastosowania systemów oczyszczania powietrza wentylacyjnego z tunelu na poziom wybranych zanieczyszczeń gazowych w rejonie wyrzutni

Powietrze w tunelach bardzo często wymaga oczyszczania z zanieczyszczeń stałych i gazowych. Ma ono na celu zapewnienie komfortu i bezpieczeństwa użytkowników dróg oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń usuwanych z tunelu do atmosfery [10]. Stacja oczyszczania zużytego powietrza powinna składać się z filtra cząstek stałych oraz filtra wybranych zanieczyszczeń gazowych.

Oczyszczanie powietrza z zanieczyszczeń stałych i gazowych w tunelu powinno być realizowane również ze względu na zapewnienie dobrych warunków widoczności, odpowiedniej jakości powietrza podczas eksploatacji tunelu i w jego otoczeniu. Istnieje wiele metod oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń emitowanych przez instalacje przemysłowe, w tym przez silniki spalinowe.

Neutralizacja zanieczyszczeń gazowych, jak na przykład ditlenku azotu, odbywa się w specjalnych filtrach. Usuwanie tlenków azotu NO_x jest złożonym procesem. Wymaga w pierwszej kolejności oczyszczenia powietrza z cząstek stałych – najczęściej z wykorzystaniem elektrofiltrów (*electrostatic precipitator* - ESP). Usuwanie zanieczyszczeń gazowych odbywa się na zasadzie absorpcji lub adsorpcji na absorbentach lub adsorbentach. Znaną technologią usuwania zanieczyszczeń gazowych, w tym ditlenku azotu, jest adsorpcja przy użyciu wodorotlenku potasu KOH na materiale pochłaniającym. W wyniku reakcji z KOH lub w wyniku adsorpcji ditlenku azotu z materiałem nasączonym siarczanem sodu Na_2SO_4 [10] powstają związki KNO_2 i KNO_3. Systemy te pozwalają na oczyszczenie powietrza z ponad 90% zanieczyszczeń w tym NO_2. Do dalszej części analizy przyjęto zastosowanie filtrów oczyszczających powietrze wentylacyjne z ditlenku azotu przy użyciu wodorotlenku potasu ze sprawnością 90%.

Przeprowadzono analizę numeryczną budowy tunelu ze stacją oczyszczania powietrza z NO_2, a wyniki stężeń ditlenku azotu na wysokości 2 m nad poziomem terenu naniesiono na mapę.

Przeprowadzone analizy rozprzestrzeniania się ditlenku azotu – składnika spalin samochodowych w rejonie ulicy Wawelskiej w Warszawie wykazały maksymalne stężenia do 150 $\mu gNO_2/m^3$ w rejonie wyrzutni powietrza oraz 0 $\mu gNO_2/m^3$ na powierzchni terenu, wzdłuż tunelu, określone na podstawie badań numerycznych dla wariantu budowy tunelu drogowego ze stacją oczyszczania powietrza.

Tabela 2. Normy emisji spalin dotyczące emisji NO_x, daty wprowadzenia norm oraz udział procentowy floty samochodów w Polsce [9], [5]
Table 2. Exhaust emission standards concerning for NO2 emissions, date of standard introduction, and the percentage share of car fleet in Poland [9], [5]

	Emisja NO_x silniki spalinowe [g/km] NO_x combustion engines [g/km]	**Emisja NO_x silniki diesla [g/km] NO_x diesel engines [g/km]**	**Data wprowadzenia Date of introduction**	**% floty pojazdów % car fleet**
Pre EURO	2,5	-		21,5
EURO 1	0,15	0,55	1993	13,0
EURO 2	0,15	0,55	1996	11,5
EURO 3	0,15	0,50	2000	19,5
EURO 4	0,08	0,25	2006	8,0
EURO 5	0,06	0,18	2009	18,5
EURO 6	0,06	0,08	2014	8,0

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.19

Wyniki przeprowadzonej symulacji komputerowej pozwalają stwierdzić, że budowa tunelu z systemem oczyszczania powietrza w ciągu ulicy Wawelskiej przyczyni się do zmniejszenia emisji zanieczyszczeń gazowych w analizowanym rejonie (ryc. 4).

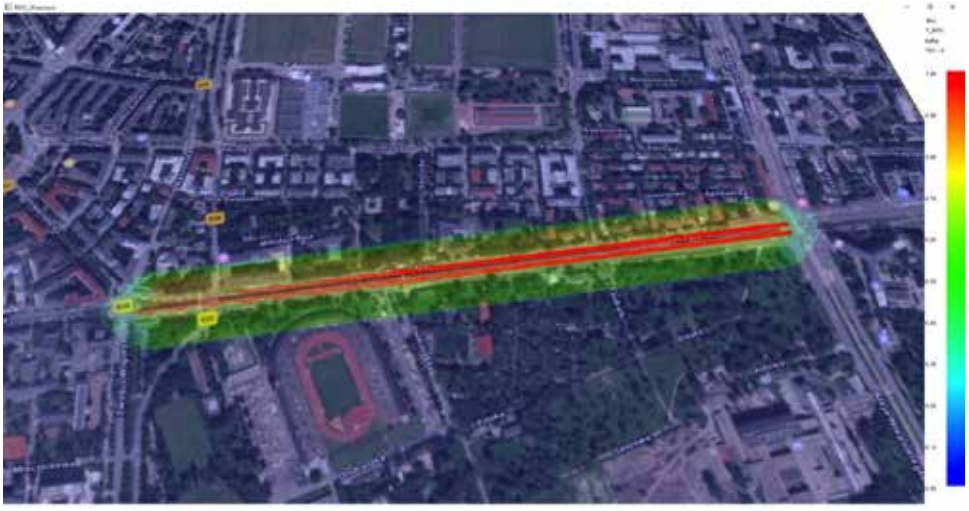
6. Analiza numeryczna rozpływu zanieczyszczeń gazowych pochodzących z ruchu pojazdów w ciągu ul. Wawelskiej

Z wykonanych obliczeń emisji spalin wynika, że dla przyjętego natężenia ruchu, na odcinku 1 km w ciągu doby do atmosfery emitowane jest 17 080 g ditlenku azotu. Przeprowadzona analiza numeryczna pozwoliła nanieść obliczone stężenia NO_2 na wysokości 2 m nad poziomem gruntu na mapę terenu dla warunków stanu istniejącego (ryc. 5) oraz dla przypadku wybudowania tunelu bez stacji oczyszczania powietrza (ryc. 6).

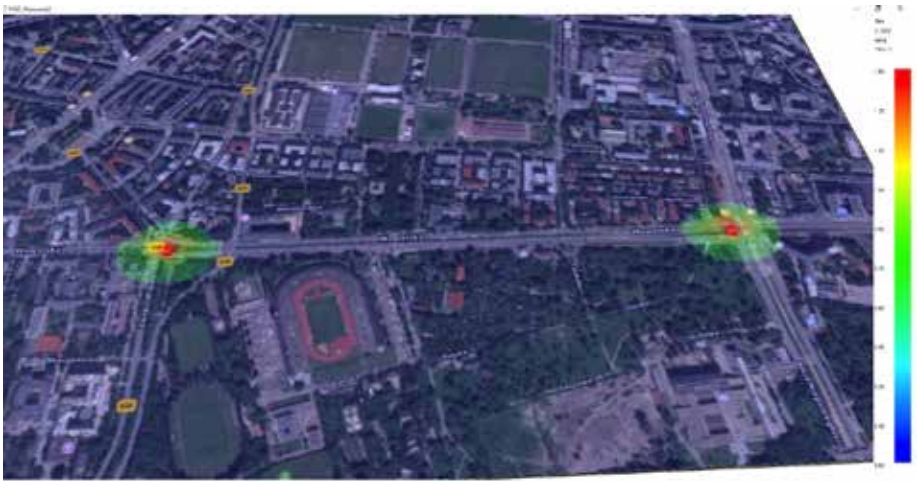
Przeprowadzone analizy rozprzestrzeniania się ditlenku azotu – składnika spalin samochodowych w rejonie ulicy Wawelskiej w Warszawie – pozwoliły określić:

a) maksymalne stężenia do 100 $\mu gNO_2/m^3$ na całej długości jezdni na podstawie badań numerycznych dla wariantu bez budowy tunelu drogowego – stan obecny,
b) maksymalne stężenia do 1500 $\mu gNO_2/m^3$ w rejonie wyrzutni powietrza oraz 0 $\mu gNO_2/m^3$ na powierzchni terenu, wzdłuż tunelu, na podstawie badań numerycznych dla wariantu budowy tunelu drogowego bez stacji oczyszczania powietrza.

Ryc. 4. Średnie dobowe stężenie NO_2 pochodzące od ruchu samochodowego analizowanego odcinka ulicy Wawelskiej z uwzględnieniem budowy tunelu ze stacją oczyszczania powietrza wylotowego, (kolorem czerwonym zaznaczono koncentracje 100-150 $\mu gNO_2/m^3$, kolorem zielonym koncentracje 60-100 $\mu gNO_2/m^3$, kolorem niebieskim koncentracje 0- 60 $\mu gNO_2/m^3$)
Fig. 4. Average daily concentration of NO_2 from car traffic in the analysed section of Wawelska Street, taking into account the construction of a tunnel with an exhaust air purification station (where 100-150 $\mu gNO_2/m^3$ concentrations were marked in red, 60-100 $\mu gNO_2/m^3$ concentrations were marked in green, and 0-60 $\mu gNO_2/m^3$ were marked in blue)
Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem map Google: mapy.google.pl.
Source: Own elaboration with the use of Google maps: maps.google.com.



Ryc. 5. Średnie dobowe stężenie NO_2 pochodzące od ruchu samochodowego analizowanego odcinka ulicy Wawelskiej, (kolorem czerwonym zaznaczono koncentracje 80-100 $\mu gNO_2/m^3$, kolorem zielonym koncentracje 40-80 $\mu gNO_2/m^3$, kolorem niebieskim koncentracje 0- 40 $\mu gNO_2/m^3$)
Fig. 5. Average daily concentration of NO_2 from car traffic in the analysed section of Wawelska Street (where 80-100 $\mu gNO_2/m^3$ concentrations were marked in red, 40-80 $\mu gNO_2/m^3$ concentration were marked in green, and 0-40 $\mu gNO_2/m^3$ concentrations were marked in blue)
Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem map Google: mapy.google.pl.
Source: Own elaboration with the use of Google maps: maps.google.com.



Ryc. 6. Średnie dobowe stężenie NO_2 pochodzące od ruchu samochodowego analizowanego odcinka ulicy Wawelskiej z uwzględnieniem wariantu tunelu, (kolorem czerwonym zaznaczono koncentracje 1000-1500 $\mu gNO_2/m^3$, kolorem zielonym koncentracje 600-1000 $\mu gNO_2/m^3$, kolorem niebieskim koncentracje 0- 600 $\mu gNO_2/m^3$)
Fig. 6. Average daily concentration of NO_2 from car traffic in the analysed section of Wawelska Street, taking into account tunnel construction (where 1000-1500 $\mu gNO_2/m^3$ concentrations were marked in red, 600-1000 $\mu gNO_2/m^3$ concentrations were marked in green and 0-600 $\mu gNO_2/m^3$ concentrations were marked in blue)
Źródło: Opracowanie własne z wykorzystaniem map Google: mapy.google.pl.
Source: Own elaboration with the use of Google maps: maps.google.com.

7. Podsumowanie

Budowa drogowych tuneli komunikacyjnych przyczynia się do znacznego zmniejszenia emisji zanieczyszczeń stałych i gazowych emitowanych do atmosfery. Dotyczy to zwłaszcza tuneli budowanych w celu przekroczenia np. góry lub wzniesienia. Poprowadzenie drogi w trudnym terenie górzystym, o znacznej długości i nachyleniu, powoduje, że poruszające się po niej pojazdy emitują dużą ilość zanieczyszczeń do atmosfery – większą niż w przypadku poruszania się w tunelu o znacznie mniejszym nachyleniu i długości.

Budowa tuneli drogowych w miastach ma na celu m.in. zmniejszenie zanieczyszczeń stałych i gazowych oraz ograniczenie hałasu i drgań w otoczeniu planowanego tunelu, aby zachować np. szczególny charakter danego miejsca. Ruch samochodowy prowadzony pod powierzchnią terenu powoduje nagromadzenie zanieczyszczeń pochodzących ze spalin silników samochodowych, które muszą zostać usunięte z tunelu z powietrzem wentylacyjnym poprzez system wentylacji. Usuwane powietrze, z reguły w jednym lub kilku miejscach (tzw. wyrzutniach), zawiera skumulowane zanieczyszczenia zebrane z kilkuset metrów lub nawet kilku kilometrów, w zależności od długości tunelu i lokalizacji wyrzutni. Budowa tuneli drogowych na silnie zurbanizowanym terenie z reguły wymaga uwzględnienia stacji oczyszczania powietrza, tak aby spełniało ono parametry określone w odpowiednich rozporządzeniach. Przykład takiej stacji znajduje się w tunelu drogowym M30 w Madrycie.

8. Wnioski

Przedstawiony materiał pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Rozwój infrastruktury transportowej na terenach silnie zurbanizowanych wymaga budowy tuneli drogowych.
2. Tunele drogowe ułatwiają komunikację oraz stanowią barierę do rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń stałych i gazowych oraz hałasu na powierzchni terenu, nad tunelem.
3. Wentylacja w tunelach drogowych może powodować nagromadzenie zanieczyszczeń stałych i gazowych usuwanych z obiektu w rejonie jego wylotu lub wyrzutni zużytego powietrza.
4. W celu zapewnienia odpowiednich warunków środowiskowych, w zakresie zanieczyszczeń stałych i gazowych, w rejonie wylotu zanieczyszczonego powietrza wentylacyjnego z tunelu konieczne jest stosowanie stacji oczyszczania powietrza, składającej się ze specjalnych filtrów do redukcji zanieczyszczeń stałych i gazowych.
5. Przeprowadzone badania numeryczne badanego odcinka drogi wykazały, że budowa tunelu bez stacji oczyszczania powietrza może skutkować lokalnymi (w rejonie portalu wylotowego tunelu) zwiększonymi stężeniami ditlenku azotu – do 1500 $\mu gNO_2/m^3$, a w przypadku budowy tunelu ze stacją oczyszczania powietrza lokalnie do 150 $\mu gNO_2/m^3$.
6. Budowa stacji oczyszczani powietrza tuneli powoduje zwiększenie kosztów budowy o ok 5%, a jej zastosowanie dla tuneli miejskich w wielu przypadkach jest konieczne do zapewnienia odpowiednich wymaganych przepisami stężeń szkodliwych substancji.

Artykuł został opracowany w ramach grantu: 15.11.100.013

Literatura

[1] Nawrat S., Napieraj S., Schmidt-Polończyk N., *Możliwości ograniczenia zagrożeń środowiskowych przez zastosowanie tuneli komunikacyjnych*, Wydawnictwo Budownictwo Górnicze i Tunelowe, Kraków 2014, 11-16.
[2] Uczkiewicz J., Kwiatkowski K.: *Ochrona powietrza przed zanieczyszczeniami Informacja o wynikach kontroli*, Najwyższa Izba Kontroli LKR-4101-007-00/2014 Nr ewid. 177/2014/P/14/086/LKR, 2014.
[3] Badyda A.J., Dąbrowiecki P., Czechowski P. O., Majewski G., *Risk of bronchi obstruction among non-smokers—Review of environmental factors affecting bronchoconstriction*, "Respiratory Physiology & Neurobiology" 2015, 209, 39-46.
[4] European Environment Agency: Air quality in Europe – 2015.
[5] Główny Urząd Statystyczny: Transport – wyniki działalności w 2014 r., Warszawa 2015.
[6] Badyda A., *Ruch drogowy i zanieczyszczenie powietrza w rejonie ul. Wawelskiej*, materiały z konferencji „Wawelska w tunelu", Warszawa 2016.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.19

[7] Bari S., Naser J., *Simulation of airflow and pollution levels caused by severe traffic jam in a road tunel*, "Tunnelling and Underground Space Technology" 2010, 25(1), 70-77.
[8] McGrattan K., McDermott R., Hostikka S., Floyd J., Overholt K., *Fire Dynamics Simulator Technical Reference Guide, Volume 1: Mathematical Model*, NIST, Washington 2013.
[9] Road Tunnels: Vehicle emissions and air demand for ventilation, PIARC Technical Committee on Road Tunnels Operation (C4), France 2013.
[10] Schmidt N., *Wybrane aspekty procesu oczyszczania powietrza z zanieczyszczeń i wentylacji w tunelach drogowych*, „Logistyka" 2013, 4, 484-496.

* * *

prof. dr hab. inż. Stanisław Nawrat – profesor na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Kierownik Zamiejscowego Ośrodka Dydaktycznego w Jastrzębiu Zdroju.

dr inż. Natalia Schmidt-Polończyk – asystentka na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. W 2016 roku obroniła rozprawę doktorską pt. *Ocena możliwości stosowania systemu wentylacji wzdłużnej w długich tunelach drogowych*. Obszarem zainteresowań autorki są zagadnienia wentylacji, bezpieczeństwa pożarowego oraz ewakuacji.

mgr inż. Sebastian Napieraj – asystent na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Pracował w międzynarodowych zespołach, między innymi w Norwegii, Ukrainie i Niemczech, zajmuje się zagadnieniami wentylacji i bezpieczeństwa w podziemnych obiektach oraz zwalczaniem zagrożeń naturalnych i wykorzystaniem metanu pokładów węgla w górnictwie.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 223–230

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.20

bryg. dr inż. **Jacek Zboina**[1]
st. bryg. mgr inż. **Mirosław Pender**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 31.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 31.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Stosowanie systemów kaset straży pożarnej – zapewnienie dostępu do obiektu w przypadku nieobecności personelu na potrzeby prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych[3]

Application of Emergency Key Boxes – Ensuring Access to a Building when the Occupants are not Present for Fire and Rescue Operations

Использование систем пожарных шкафов для ключей – обеспечение доступа к объекту в случае отсутствия персонала для целей проведения спасательно-гасящих действий

ABSTRAKT

Cel: Coraz częściej w Polsce w trakcie działań ratowniczo-gaśniczych strażacy napotykają na problemy związane z brakiem dostępu do obiektów budowlanych w sytuacji, gdy nie przebywa w nich personel. Dotyczy to dostępu zarówno do obiektu (drzwi wejściowych, drzwi dla ekip ratowniczych), jak i do jego pomieszczeń. W artykule przedstawiono praktyczne i operacyjne aspekty wykorzystania systemów kaset straży pożarnej (sKSP) podczas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych, a także formalne i techniczne uwarunkowania ich stosowania. System kaset jest efektem współpracy między właścicielami obiektów (w których wdrożono rozwiązania), komendami powiatowymi Państwowej Straży Pożarnej, dostawcą rozwiązań technicznych i Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowym Instytutem Badawczym (CNBOP-PIB).
Wprowadzenie: Artykuł przedstawia kwestię zapewnienia dostępu do obiektu pod nieobecność personelu w sytuacji, w której zachodzi konieczność podjęcia działań ratowniczo-gaśniczych. Opisano wybrane rozwiązania już wdrożone, jak również te możliwe do zastosowania. Na podstawie prowadzonych badań, opracowanych koncepcji i wytycznych, a także testowania sKSP przedstawiono proponowany zakres stosowania tych urządzeń, które ma na celu wyeliminowanie przeszkód w dostępie do obiektu dla straży pożarnej przy braku oznak zewnętrznych pożaru.
Metodologia: W celu zapewnienia dostępu straży pożarnej do obiektów w przypadku nieobecności personelu opracowano koncepcję, dokonano wyboru rozwiązań technicznych, organizacyjnych oraz procedur postępowania, a następnie wdrożono zaproponowany system kaset i przeprowadzono jego testy. Rozwiązanie jest efektem współpracy między właścicielem obiektu, jednostkami Państwowej Straży Pożarnej, instytutem badawczym i dostawcą produktów i usług, nastawionej na konkretny cel, którym jest zapewnienie dostępu do obiektu w przypadku pożaru.
Wnioski: W artykule zaprezentowano wnioski z prowadzonych prac nad koncepcją wykorzystania, wytyczne w tym zakresie, a także opisano efekty testów i wdrożeń sKSP w trzech obiektach w kraju. Opisano korzyści wynikające ze stosowania sKSP zarówno dla właścicieli obiektów, jak i służb ratowniczych. Prezentowane rozwiązania stanowią udogodnienie dla straży pożarnej, a także ważny element ochrony obiektu i minimalizacji strat związanych z prowadzeniem działań ratowniczo-gaśniczych dla właściciela, zarządcy i/lub użytkownika placówki.

Słowa kluczowe: ochrona przeciwpożarowa, ratownictwo, systemy kaset straży pożarnej, dostęp do budynku dla straży pożarnej
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Purpose: Increasingly in Poland during rescue and firefighting operations firefighters encounter problems associated with no access to buildings, while the personnel is absent. The problem is not limited to the issue of accessing the building from the outside (the front door, the door for rescue teams), but it also concerns accessing internal rooms. Practical and operational aspects of applying systems of emergency key boxes (sKSP) while conducting fire and rescue operations, as well as formal and technical conditions of their application are presented in the article. It is a result of close cooperation (implementation) of building owners (where this solution was implemented), District Headquarters of the State

[1] Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland; jzboina@cnbop.pl;
[2] Komenda Miejska Państwowej Straży Pożarnej w Koszalinie / District Headquarters of State Fire Service in Koszalin, Poland;
[3] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.20

Fire Service – the providers of technical solutions and Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute.
Introduction: The problem of accessing a building, in the absence of its personnel during rescue and firefighting operations is presented in the paper. Hereinafter, solutions which are already being used and those which can be applied were described. Based on research, developed concepts and guidelines, as well as testing sKSP solutions, the scope of application of these devices was proposed. In practice this may mean that frequently a fire brigade which arrives at the scene will face the problem of accessing a building when there are no external signs of fire.
Methodology: In order to ensure access for a fire brigade to a building in the absence of its personnel a concept was developed, technical, organizational and procedural solutions were selected, and then a proposed system of emergency key boxes was implemented and tested in practice. This is an example of practical cooperation between the owner of the building, the State Fire Service, the research institute and suppliers of products and services. Their common goal is to provide access to a building in case of a fire.
Conclusions: Finally, the article consists of conclusions of the work carried out to develop the concept, of the preparation of guidelines in this area as well as of testing and implementation of the sKSP systems in three buildings in the country. Benefits resulting from using sKSP arising both for the owners of the buildings and the emergency services were described. Presented solutions are a convenience for firefighters, as well as an important element in the concept of building safety; they also minimize losses associated with conducting rescue and firefighting operations for the owner, manager and / or building occupant.

Keywords: fire protection, rescue, firefighters emergency key boxes, access to a building for firefighters
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Все чаще в Польше во время спасательно-гасящих действий пожарные сталкиваются с проблемами, связанными с отсутствием доступа к строительным объектам, когда в них нет персонала. Это относится как к доступу в объект (к входной двери, двери для спасательных команд), так и в его помещения. В статье представлены практические и оперативные аспекты использования систем пожарных шкафов для ключей (sKSP) пожарными во время проведения спасательно-гасящих действий, а также формальные и технические условия для их использования. Система пожарных шкафов для ключей является результатом совместной работы владельцев объектов (в которых данные системы были использованы), районных управлений (комендатур) Государственной Пожарной Службы, поставщиков технических решений и Научно-Исследовательского Центра Противопожарной Охраны – Государственного Исследовательского Института (CNBOP-PIB).
Введение: В статье представлен вопрос о предоставлении доступа к объекту при отсутствии в нём персонала, когда необходимо предпринять спасательно-гасящие действия. В ней описаны некоторые решения, которые уже были внедрены, а также другие возможные для использования. На основе проводимых исследований, разработанных концепций и руководств, а также тестирования sKSP было показано предполагаемое использование этих устройств, целью которых является устранение преград для пожарных при доступе к зданию, если отсутствуют внешние признаки пожара.
Методология: В целях обеспечения пожарной службе доступа к объектам, когда в них нет персонала, была разработана концепция, выбраны технические и организационные решения, а также процедуры поведения, а затем внедрена и протестирована система sKSP. Решение является результатом сотрудничества владельцев объекта, подразделений Государственной Пожарной Службы, Исследовательского института и поставщиков продуктов и услуг, направленного на конкретную цель, которая заключается в обеспечении доступа к зданию в случае возникновения пожара.
Выводы: В статье представлены результаты работы над концепцией использования систем sKSP, главные принципы в этой области, а также результаты тестирования и внедрения систем в трех зданиях в Польше. Были описаны преимущества использования sKSP как для владельцев зданий, так и для спасательных служб. Представленные решения не только выгодны для пожарных служб, но также представляют собой важный элемент защиты объекта и минимизации потерь, связанных с проведением спасательно-гасящих действий для владельцев, управляющих и / или пользователей объекта.

Ключевые слова: пожарная охрана, служба спасения, системы пожарных шкафов для ключей, доступ к зданию для пожарной службы
Вид статьи: обзорная статья

1. Wstęp

Straż pożarna w Polsce ma często utrudniony dostęp do obiektów budowlanych (w przypadku nieobecności personelu w budynku), co stanowi znaczącą przeszkodę w działaniach ratowniczo-gaśniczych. Dotyczy to dostępu zarówno do obiektu (drzwi wejściowych, drzwi dla ekip ratowniczych), jak i do jego pomieszczeń [1]. Analiza zagadnienia pozwala dostrzec pewien trend na rynku, który przyczynia się do takiego stanu rzeczy: firmy i instytucje rezygnują z personelu całodobowego i ochrony fizycznej obiektów budowlanych w związku z redukcją kosztów (w tym kosztów pracy), jak również rozwojem technologii w zakresie dozoru i zabezpieczeń, który stwarza nowe możliwości nadzoru obiektu. W praktyce oznacza to, że coraz częściej straż pożarna po dotarciu na miejsce zdarzenia, przy braku zewnętrznych oznak pożaru, nie może dostać się do obiektu. Obecność odpowiednio przygotowanego i zaangażowanego personelu obiektu oraz jego współpraca ze strażą pożarną ma istotny wpływ na skrócenie czasu dotarcia do źródła pożaru lub pozwala ustalić, czy alarm był fałszywy bez potrzeby czynienia niepotrzebnych szkód, np. wyważania drzwi.

2. Zapewnienie dostępu do obiektu

Problem zapewnienia dostępu do obiektów w praktyce straży pożarnej został dostrzeżony w roku 2013. Wstępne analizy, obserwacje i przeprowadzone badania pozwoliły sformułować pierwsze wnioski, określić potrzeby oraz opracować nowe koncepcje [4]. Między innymi zdefiniowany został główny cel ochronny, tj. zapewnienie takich warunków ochrony przeciwpożarowej (przy wykorzystaniu urządzeń przeciwpożarowych i innych tego typu rozwiązań), które doprowadzą w praktyce do skrócenia czasu dotarcia ratowników do źródła pożaru lub które pozwolą ustalić, czy alarm był fałszywy bez czynienia istotnych szkód. Cel ten ma być realizowany zarówno w przypadku obecności, jak i nieobecności personelu w obiekcie i jest on przede wszystkim uzasadniony ekonomicznie. Jednak dużo trudniej osiągnąć go w drugim przypadku, gdy w obiekcie nie ma personelu np. w godzinach

nocnych. Dlatego w określonej grupie obiektów istnieje potrzeba wdrażania nowych rozwiązań umożliwiających jednostkom ochrony przeciwpożarowej dostęp do tych obiektów. Przykładem takiego rozwiązania jest system kaset straży pożarnej (sKSP). Tego rodzaju systemy są wykorzystywane w innych państwach Europy i świata już od jakiegoś czasu, jednak w warunkach polskich temat jest relatywnie nowy. Ważną zaletą tych systemów jest fakt, że łączą one procedury organizacyjne i rozwiązania techniczne z innymi funkcjonującymi w obiekcie systemami bezpieczeństwa, w tym urządzeniami przeciwpożarowymi.

Zastosowanie sKSP w obiektach niesie za sobą liczne korzyści, w tym:

1. Gwarantuje jednolitość i niezawodność – CNBOP-PIB opracowało i wydało *Wytyczne wyposażania obiektów budowlanych w kasety straży pożarnej* [2], w których precyzyjnie określone zostały wymagania dla sKSP. System jest zgodny z wytycznymi, jeżeli do jego budowy użyto wyrobów, których określone właściwości zostały potwierdzone w procesie oceny zgodności. Dzięki temu system jest zbudowany z elementów, które gwarantują jego niezawodność i bezpieczeństwo funkcjonowania. Ponadto sKSP mogą uzyskać pozytywną opinię techniczną CNBOP-PIB w ramach dobrowolnego procesu oceny, niezależnie od spełnienia ww. obowiązkowych wymagań dla stosowanych wyrobów. Wydanie opinii jest poprzedzone uzgodnieniami z właściwym komendantem powiatowym/miejskim PSP i uzyskaniem jego akceptacji m.in. w zakresie lokalizacji urządzeń i zasad działania, współpracy sKSP z urządzeniami przeciwpożarowymi w obiekcie oraz, co szczególnie ważne, procedur postępowania właściciela, zarządcy i/lub użytkownika, wykonawcy i właściwego komendanta powiatowego/miejskiego PSP. Takie podejście pozwala budować i stosować przemyślane oraz jednolite sKSP na terenie, na którym działania prowadzi dana komenda powiatowa/miejska PSP, co w sytuacji interwencji straży pożarnej ma duży wpływ na czas i skuteczność podjętych działań.
2. Umożliwia integrację z innymi systemami funkcjonującymi w obiekcie. Systemy budowane w oparciu o wytyczne CNBOP-PIB W-0002 mogą i powinny być zintegrowane z innymi systemami funkcjonującym w obiekcie, w tym m.in. z systemem sygnalizacji pożarowej i „monitoringiem pożarowym", systemem antywłamaniowym i kontroli dostępu. Integracja systemów ma na celu ich współdziałanie służące zapewnieniu bezpieczeństwa w obiekcie. Współdziałanie tych systemów m.in. podczas działań ratowniczo-gaśniczych może dawać wiele korzyści. Zależą one od liczby i rodzajów systemów, w jakie wyposażony jest obiekt, i stopnia ich integracji. Zaletą integracji może być m.in. automatyczne odblokowanie drzwiczek zewnętrznych KSP przez system sygnalizacji pożarowej, automatyczne wyłączenie systemu antywłamaniowego i kontroli dostępu oraz powiadomienie o zdarzeniu ochrony fizycznej i administratora/zarządcy obiektu w wyniku pobrania klucza/karty z KSP. Takie działania ułatwiają i przyspieszają podjęcie skutecznych działań w obiekcie.
3. Eliminuje konieczność posiadania i przewożenia przez straż pożarną kart dostępu lub kluczy do obiektu.
   Posiadanie na wyposażeniu samochodów pożarniczych straży pożarnej kluczy lub kart dostępu do obiektów (nieposiadających całodobowego dozoru) może być kłopotliwym i w efekcie nie zawsze dobrym rozwiązaniem. Alternatywne rozwiązanie to sKSP. Zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB W-0002 istnieje kilka wariantów rozwiązań technicznych stosowanych w sKSP, które umożliwiają dostęp do obiektu bez konieczności posiadania i przewożenia kluczy lub kart dostępu. System KSP umożliwia pobranie klucza/karty dostępu do obiektu dzięki automatycznemu odblokowaniu drzwiczek zewnętrznych KSP. Następnie otwarcie drzwiczek wewnętrznych KSP przez strażaka odbywa się poprzez wprowadzenie jednorazowego kodu generowanego przy użyciu odpowiedniego oprogramowania przez dyżurnego stanowiska kierowania właściwego komendanta powiatowego/miejskiego PSP i przekazywanego drogą radiową do kierującego działaniem ratowniczym na miejscu zdarzenia. W ten sposób strażacy uzyskują szybki dostęp do obiektu.
4. Skraca czas dotarcia do źródła pożaru.
   Czas dotarcia do miejsca zagrożenia (pożaru) skraca się dzięki możliwości szybkiego i łatwego pobrania z KSP kluczy/karty dostępu[4] do obiektu, za pomocą których otwierane są drzwi do pomieszczeń (jeżeli w obiekcie występuje system kontroli dostępu zintegrowany z sKSP). Innym sposobem optymalizacji czasu jest pobranie kluczy/kart dostępu do pomieszczeń z szafki „bezpieczeństwa", a następnie zlokalizowanie miejsca pożaru i określenie drogi dotarcia do niego w oparciu o informacje z systemu sygnalizacji pożarowej (centralki SSP) oraz dokumentację obiektu (np. z instrukcji bezpieczeństwa pożarowego) przechowywaną w szafce „bezpieczeństwa". Możliwe jest również zastosowanie i wykorzystanie sprzętu informatycznego do wizualizacji i wskazania drogi dojścia do miejsca zdarzenia lub wywołania alarmu.
5. Umożliwia szybkie i łatwe zlokalizowanie KSP w obiekcie.
   Jednym z elementów mających wpływ na czas i skuteczność działań straży pożarnej jest lokalizacja KSP w obiekcie. Zgodnie z wytycznymi CNBOP-PIB W-0002 KSP powinna być montowana na ścianie zewnętrznej budynku w odległości nie większej niż 5 m od wejścia dla straży pożarnej albo wejścia głównego do obiektu. Sformułowano również wymaganie w zakresie zapewnienia oświetlenia awaryjnego dla KSP, uruchamianego w nocy w przypadku wykrycia pożaru w obiekcie. Lokalizacja KSP jest jednym z elementów, które muszą być uzgodnione z właściwym dla danego obszaru komendantem powiatowym lub miejskim PSP. Dzięki temu strażacy na terenie działania swojej komendy mogą wdrożyć jednakowe rozwiązania w tym zakresie.
6. Pozwala na szybki dostęp do dokumentacji i centralki systemu sygnalizacji pożarowej (SSP).
   Kolejną kwestią mającą wpływ na skuteczność działań straży pożarnej jest dostęp do dokumentacji obiektu związaną z ochroną przeciwpożarową. Dokumentacja ta często jest potrzebna do lokalizacji zagrożenia (szczególnie wtedy gdy nie ma oznak zewnętrznych pożaru) oraz uzyskania informacji o obiekcie i występujących w nim technicznych systemach zabezpieczeń przeciwpożarowych. Powinna ona być przechowywana w szafce koloru czerwonego, odpowiednio oznakowanej i zabezpieczonej. Ważne jest, aby szafka z dokumentacją znajdowała się bezpośrednio w pobliżu wejścia, z którego będą korzystali strażacy.
7. Jest uzasadnione względami ekonomicznymi. Pozwala ograniczać straty.
   W przypadku braku zewnętrznych oznak pożaru oraz nieobecności personelu w obiekcie kierujący działaniem ratowniczym decyduje, czy należy podjąć natychmiastowe działania i przy użyciu sprzętu burzącego i/lub hydraulicznego uzyskać dostęp do obiektu, czy czekać na przybycie osób, które mają uprawnienia, by taki dostęp

[4] W sKSP przewidziano kilka rozwiązań technicznych. Pozwalają one na pobieranie: kluczy, kart, otwieranie elektronicznych zamków, stosowanie czytników itp.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.20

umożliwić. Problem ten nie dotyczy obiektów, w których zastosowano sKSP. Tym samym ogranicza się straty pożarowe, ponieważ nie występuje konieczność niszczenia lub wyważania drzwi. Ponadto ratownicy mają możliwość dotarcia do źródła ognia i ugaszenia pożaru w krótszym czasie, co skutkuje zmniejszeniem bezpośrednich strat wywołanych przez oddziaływanie pożaru. Zastosowanie sKSP eliminuje również potrzebę całodobowego nadzoru obiektu przez personel lub firmę ochroniarską.

8. Umożliwia monitorowanie stanu bezpieczeństwa obiektu. System przekazuje również informacje właścicielowi/zarządcy obiektu, jeżeli dojdzie do zakłócenia bezpieczeństwa. Aktywowana KSP automatycznie wysyła informację do właściciela lub zarządcy obiektu lub upoważnionej przez niego osoby/instytucji (np. zewnętrznej firmy ochroniarskiej). Odbiorca ma wtedy pewność, że w obiekcie podjęte zostały działania ratowniczo-gaśnicze oraz że bezwzględnie i niezwłocznie powinien przybyć na miejsce zdarzenia. Po zakończeniu działań straży pożarnej i przekazaniu obiektu właścicielowi/zarządcy lub upoważnionemu przedstawicielowi obiekt może zostać ponownie zabezpieczony. W związku z brakiem zniszczeń drzwi zewnętrznych i okien może odbyć się to łatwo i szybko.
9. Skraca czas interwencji straży pożarnej.
W sytuacji, gdy na miejscu zdarzenia nie ma właściciela/zarządcy lub ich upoważnionego przedstawiciela i nie ma możliwości przekazania obiektu objętego działaniem ratowniczym, a istnieje uzasadniona potrzeba zadysponowania zastępów straży pożarnej do innego zdarzenia, wówczas klucze/karta do obiektu mogą zostać ponownie zdeponowane w KSP, a obiekt przekazany np. policji i pozostawiony bezpiecznie (nieuszkodzone drzwi zewnętrzne i wewnętrzne oraz okna). Powyższe ma istotne znaczenie dla zastępów ratowniczych i ich gotowości do podjęcia kolejnych działań (gotowości operacyjnej).

3. Stosowanie sKSP

Systemy KSP nie są zagadnieniem nowym w ochronie przeciwpożarowej. W różnych państwach wypracowane zostały rozwiązania techniczne, organizacyjne, a także odpowiednie procedury [8-13], które są stosowane w praktyce. Rozwiązania te (w różnych państwach) różnią się od siebie znacząco zarówno pod względem technicznym, jak i od strony organizacyjnej. Na poniższej rycinie zaprezentowane zostały niektóre z tego typu rozwiązań.

Systemy KSP są od lat wykorzystywane przez straże pożarne w Republice Federalnej Niemiec [8-10] czy USA [11-13]. Rozwój techniki i technologii w obszarze ochrony i zabezpieczeń pozwala na ograniczanie całodobowego dozoru przez personel, a także sprzyja ewolucji między innymi takich rozwiązań jak sKSP. Kolejnym argumentem przemawiającym za stosowaniem sKSP jest rozwój antywłamaniowych rozwiązań budowlanych. Stosowanie fizycznych zabezpieczeń, specjalnych konstrukcji zamków jest z jednej strony pożądane, z drugiej niekiedy stanowi poważną przeszkodę w dostaniu się do pomieszczenia w przypadku pożaru. W Polsce dostrzeżono już potrzebę stosowania sKSP w związku z faktycznymi zdarzeniami. Dokonano analizy przypadków, uwarunkowań krajowych, potrzeb i oczekiwań, a także możliwości i istniejących już sKSP, następnie przeprowadzono badania, wdrożono i przetestowano rozwiązania, a w efekcie tych działań został opracowany sKSP prezentowany w niniejszym artykule. Analizie[5] poddano również stosowane sKSP i wymagania dla tych systemów w innych państwach. W związku z tym, że w Polsce sKSP są dopiero wdrażane, możliwe było zastosowanie bardziej zaawansowanych technologicznie rozwiązań oraz procedur organizacyjnych uzgadnianych pomiędzy właścicie-

[5] Analiza przeprowadzona w ramach wspólnych prac – właściciela obiektów, dostawcy rozwiązań KSP, Komend Powiatowej/ Miejskiej PSP w Lesznie i Koszalinie, CNBOP-PIB.

Ryc. 1. Przykłady systemów KSP
Fig. 1. Examples of KSP systems
Źródło: http://westplainsfd.org//knox-box/, [dostęp 19.05.2016], West Plains Fire Dept.
https://apollogateopeners.com/store/fire-department-access-box-for-knoxlock.html, [dostęp 19.05.2016], Nice Apollo Gate Pener.
http://hoosickfallsfd.org/knoxbox-program/, [dostęp: 19.05.2016], Hoosick Falls 17 Fire Department.
Source: http://westplainsfd.org//knox-box/, [access 19.05.2016], West Plains Fire Dept.
https://apollogateopeners.com/store/fire-department-access-box-for-knoxlock.html, [access 19.05.2016], Nice Apollo Gate Pener.
http://hoosickfallsfd.org/knoxbox-program/, [accessed: 19.05.2016], Hoosick Falls 17 Fire Department.

lem obiektu, dostawcą rozwiązań KSP i właściwą komendą powiatową/ miejską PSP, a także CNBOP-PIB. Współpraca z KP PSP w Lesznie i Koszalinie pozwoliła określić wymagania funkcjonalne dla takich systemów stawiane przez strażaków-ratowników. Na ich podstawie między innymi odrzucono, choć nie wykluczono[6], koncepcję (stosowaną w strażach w innych państwach) fizycznych kluczy[7], na rzecz klawiatur alfanumerycznych, systemów generatora kodów i jednorazowych kodów dostępu dla straży pożarnej.

Systemy KSP nie są obecnie urządzeniami przeciwpożarowymi w rozumieniu § 2. 1. pkt. 9) rozporządzenia MSWiA w sprawie ochrony przeciwpożarowej [3]. Mieszczą się wprawdzie w zakresie w definicji, która urządzenia przeciwpożarowe określa jako urządzenia „(…) służące do zapobiegania powstaniu, wykrywania, zwalczania pożaru lub ograniczania jego skutków", jednak wymienione w dalszej części rodzaje systemów i urządzeń kwalifikujących się do tej grupy nie uwzględniają tego typu systemów jak sKSP. Nie ma jednak przeciwskazań formalnych, aby w przypadku pojawienia się ich na polskim rynku w przyszłości definicja ta została rozszerzona i obejmowała również systemy kaset[8]. Obecny stan prawny stwarza możliwości do stosowania takich rozwiązań z uwzględnieniem wymagań ogólnych. Wymaga to jednak przyjęcia określonego sposobu postępowania, który zaproponowano w wytycznych CNBOP-PIB[9] [1].

W dokumencie opisano wymagania i zalecenia odnośnie stosowania KSP. Dokument przeznaczony jest dla uczestników procesu inwestycyjnego, w tym architektów i projektantów obiektów budowlanych i systemów zabezpieczeń przeciwpożarowych w budynkach, właścicieli i zarządców obiektów, rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz funkcjonariuszy pionów kontrolno-rozpoznawczych Państwowej Straży Pożarnej, jak również producentów wyrobów służących ochronie przeciwpożarowej. Wspomniane wytyczne wskazują zasady wyposażania budynków w kasety straży pożarnej umożliwiające sprawne wejście do budynku w przypadku wystąpienia pożaru lub innego zagrożenia wymagającego dostępu do pomieszczeń w budynku pod nieobecność jego użytkowników lub personelu. System KSP ma umożliwiać ratownikom wejście do pomieszczeń budynku wg uzgodnionych procedur, z wykorzystaniem określonych rozwiązań technicznych. Rozwiązania te są z jednej strony udogodnieniem dla straży pożarnej, z drugiej zaś dla właściciela, zarządcy i/lub użytkownika budynku stanowią ważny element ochrony budynku i minimalizują straty związane z prowadzeniem działań ratowniczo-gaśniczych.

Wytyczne opisują także sposób rozmieszczenia elementów systemu Kasety Straży Pożarnej w budynkach, tak aby ułatwić do nich dostęp strażakom-ratownikom w trakcie działań ratowniczo-gaśniczych, co w praktyce pozwoli znacząco skrócić czas lokalizacji zagrożenia i dotarcia do niego, a także poprawić skuteczność tych działań w przypadku braku personelu i ochrony fizycznej budynku. Wytyczne opracowano na podstawie prowadzonych badań i testów, w tym programu pilotażowego przeprowadzonego we współpracy z właścicielami obiektów, KP/KM PSP odpowiednio w Lesznie i Koszalinie, a także dostawcami rozwiązań technicznych poprzez wspólne prace i wdrożenia w tym zakresie.

[6] Możliwe jest stosowanie fizycznych kluczy, jednak rozwiązanie to niesie za sobą pewne niedogodności. Prowadzone badania, prace i testy dowiodły, że proponowane nowe rozwiązania w tym zakresie zapewnią łatwiejszy i szybszy dostęp strażaków-ratowników do obiektu.

[7] Rozwiązania z kluczem przetestowano w warunkach rzeczywistych. Wyniki i wnioski z przeprowadzonych testów są podstawą do wdrażania jako rozwiązań docelowych zamków elektronicznych, systemów generowania kodów dostępu itd.

[8] Przykładem takiej praktyki w zakresie ewolucji katalogu urządzeń przeciwpożarowych mogą być np. urządzenia inertyzujące, które w drodze nowelizacji uzupełniły katalog urządzeń przeciwpożarowych.

[9] Wytyczne te stanowią opracowanie CNBOP-PIB, a ich stosowanie jest dobrowolne.

Ryc. 2. Klucze uniwersalne do KSP stosowane przez straże pożarne
Fig. 2. Universal Keys for KSP used by fire brigade
Źródło: http://www.spp.waw.pl/wp-content/uploads/2016/03/Prezentacja-systemu-sygnalizacji-Kaseta-Stra%C5%BCy-Po%C5%BCarnej.pdf [dostęp: 19.05.2016], T. Stotko, Prezentacja systemu sygnalizacji pożarowej … wraz z Kasetą Straży Pożarnej, 2016.
Source: http://www.spp.waw.pl/wp-content/uploads/2016/03/Prezentacja-systemu-sygnalizacji-Kaseta-Stra%C5%BCy-Po%C5%BCarnej.pdf [accessed: 19.05.2016], T. Stotko, *Presentation of the fire alarm system ... along with a cassette Fire*, 2016.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.20

Wytyczne CNBOP-PIB W-0002 zawierają:

1. koncepcje rozwiązań technicznych sKSP wraz ze schematami i opisem działania,
2. wymagania techniczne dotyczące stosowania KSP:
   - wymagania dla elementów systemu KSP,
   - lokalizacja kasety straży pożarnej,
   - szafka na klucze do pomieszczeń,
   - panel obsługi dla Straży Pożarnej,
   - okablowanie,
   - oznakowanie,
   - oświetlenie,
   - dokumentacja budynku,
3. wymagania organizacyjne dotyczące stosowania KSP,
4. wymagania w zakresie oceny poprawności działania urządzeń i ich funkcjonalności w trakcie przekazywania systemu KSP do użytkowania:
   - warunki przekazania systemu KSP do użytkowania,
   - próba funkcjonowania KSP,
   - opinia techniczna CNBOP-PIB,
   - dokumentacja,
5. wymagania w zakresie oceny poprawności działania urządzeń i ich funkcjonalności przez straż pożarną, listy kontrolne dla straży pożarnej, warunki/zalecenia dotyczące odbiorów:
   - próby i sprawdzenie systemu KSP,
6. zalecenia dotyczące obsługi i użytkowania zainstalowanych systemów, wytyczne dla użytkownika budynku dotyczące okresowych prób i testów:
   - obsługa codzienna,
   - obsługa okresowa.

Wytyczne zawierają również definicje takich pojęć jak:

- kaseta straży pożarnej (KSP),
- adapter kasety straży pożarnej (Adapter KSP),
- klucz straży pożarnej,
- panel obsługi dla straży pożarnej (POSP),
- stacja odbiorcza alarmów pożarowych (SOAP).

Wytyczne CNBOP-PIB W-0002[10] dostępne są odpłatnie i warunkiem ich stosowania jest:

- przywołanie niniejszych wytycznych w dokumentacji związanej z projektowanym i wykonanym w budynku sKSP,
- wykorzystanie do budowy systemu wyrobów posiadających odpowiednie dokumenty dopuszczające do obrotu i stosowania oraz opinie techniczne CNBOP-PIB, o których mowa w pkt. 4.1. wytycznych,
- uzyskanie opinii technicznej CNBOP-PIB dla sKSP w budynku, o której mowa w pkt. 6.1. wytycznych, a także znakowanie systemu znakiem Opinia Techniczna CNBOP-PIB.

Jednostkom organizacyjnym PSP, CNBOP-PIB udostępnia wytyczne bezpłatnie [2].

Przedstawiony sKSP umożliwia służbom ratowniczym dostęp do budynku w przypadku nieobecności personelu w obiekcie. Istnieje kilka możliwych do zastosowania rozwiązań technicznych i organizacyjnych. System KSP można stosować również niezależnie od ochrony przeciwpożarowej w odpowiedzi na inne potrzeby inwestora czy użytkownika obiektu (dostęp dla ochrony, serwisu, ekip sprzątających itd.) Ważne jest, aby sKSP dla straży pożarnej był systemem autonomicznym, dopasowanym do potrzeb i zasad funkcjonowania służb, których działania ma wspierać. Największe możliwości wykorzystania sKSP pojawiają się przy projektowaniu nowych budynków, w budynkach już istniejących mogą pojawiać się pewne ograniczenia, ale w nich również możliwe jest osiągnięcie pełnej funkcjonalności sKSP dla straży pożarnej.

W poniższym opisie sKSP użyto następujących skrótów:

- ACO – alarmowe centrum odbiorcze,
- SSWiN – system sygnalizacji włamania i napadu,
- SSP – system sygnalizacji pożarowej,
- STAPiSU – system transmisji alarmu pożarowego i sygnału uszkodzeniowego,
- SDSP – system detekcji stanów pracy.

Zastosowanie systemu KSP znajduje największe uzasadnienie w obiektach, które nie posiadają całodobowego dozoru. Jednak taki budynek musi być wyposażony w SSP i opcjonalnie w SSWiN. Ponadto SSP jest połączony z STAPiSU podłączonego do ACO PSP. W przypadku wystąpienia zagrożenia pożarowego w budynku SSP wykrywa ten stan i przekazuje informację do STAPiSU. STAPiSU wysyła informację o wykrytym pożarze do ACO PSP. Stamtąd są dysponowane zasoby ratownicze. Straż pożarna przybyła na miejsce zdarzenia używa KSP. Kaseta posiada podwójne drzwiczki w formie sejfu. Blokada pierwszych drzwi jest zwalniana w momencie wywołania i przekazania alarmu przez SSP do STAPiSU. Drzwi zostają odblokowane, ale nie otwarte, to oznacza, że nie ma z zewnątrz oznak odblokowania KSP. Po przybyciu straży pożarnej dowódca lub wyznaczony strażak otwiera odblokowane wcześniej pierwsze drzwi KSP i uzyskuje dostęp do drzwi zwalnianych za pomocą kodu. W celu uzyskania kodu strażak łączy się drogą radiową za pomocą środków łączności PSP z dyżurnym w ACO PSP. Na żądanie dyżurny loguje się do „chmury", w której generowany jest jednorazowy kod dostępu. Kod zostaje przekazany drogą radiową za pomocą łączy radiowych PSP. Kod do KSP wprowadzany jest za pomocą klawiatury alfanumerycznej. Po poprawnym wprowadzeniu kodu strażak uzyskuje dostęp do obiektu lub do kluczy umożliwiających otwarcie obiektu. Po wykonaniu rozpoznania, weryfikacji zagrożenia lub zakończeniu działań ratowniczo-gaśniczych po zamknięciu drzwi dostępowych klucze trafiają do KSP. System jest gotów do ponownego użycia. Informacje o otwarciu KSP, pobraniu kluczy, odłożeniu kluczy może być przekazywana również do zintegrowanych z sKSP systemów zewnętrznych.

4. Wnioski

W Polsce sKSP jest całkowicie nowym rozwiązaniem – tworzonym od podstaw z uwzględnieniem możliwości i ograniczeń w tym zakresie. Dlatego konieczne było przeprowadzenie badań, analiz i testów wdrażanych rozwiązań. Wypracowane rozwiązania uwzględniają dorobek i doświadczenia innych państw, jednak są bardziej zaawansowane technologicznie od tych wdrażanych w przeszłości za granicą[11]. W ramach wspólnych badań i prac[12] opracowano nie tylko rozwiązania techniczne, ale i procedury organizacyjne.

W koncepcji ochrony obiektu rozwiązania te służą minimalizacji strat związanych z prowadzeniem działań ratowniczo-gaśniczych i strat popożarowych. Są także dużym udogodnieniem dla straży pożarnej, właściciela, zarządcy i/lub użytkownika obiektu. Barierą w stosowaniu sKSP był i jest nadal niewystarczający poziom zaufania stron do niezawodności tych systemów, a także obawa, że dostęp do obiektu mogą uzyskać osoby nieupoważnione.

Dla ratowników kluczowe są: łatwość użycia, przejrzystość procedur wejścia i przekazania obiektu, a także wyeliminowanie obowiązku posiadania przez nich fizycznych kluczy do obiektów. Rozwiązania sKSP można dostosowywać do indywidualnych potrzeb i wymagań PSP, właściciela, użyt-

[10] Zostały opracowane przez CNBOP-PIB i stanowią jego własność.

[11] Testowaniu i wdrażaniu rozwiązań towarzyszyła analiza rozwiązań dostępnych w innych państwach – poszukiwano jednak nowych możliwości, rozwiązań i technologii na potrzeby ochrony przeciwpożarowej w Polsce.

[12] Prowadzonych wspólnie z właścicielem/zarządcą budynku, dostawcą systemu KSP i KP/KM PSP, w tym CNBOP-PIB.

kownika czy zarządcy obiektu budowlanego w sposób pozwalający na m.in. zapewnienie oczekiwanego przez danego odbiorcę poziomu dostępu. Istnieje kilka możliwości konfiguracji sprzętowo-organizacyjnych systemów KSP, w których uwzględnione zostaną funkcjonujące w danym obiekcie systemy zabezpieczeń, w tym m.in.: system sygnalizacji pożarowej, transmisji alarmów pożarowych i sygnałów uszkodzeniowych (monitoringu pożarowego), system kontroli dostępu, urządzeń integrujących, a także system sygnalizacji włamania i napadu itp.

Wynikiem prac w obszarze sKSP są również ww. organizacyjne i techniczne wytyczne stosowania tych systemów. W przypadku wykonywania sKSP według wytycznych CNBOP-PIB W-0002 zarówno rozwiązania techniczne, jak i przyjęte procedury organizacyjne podlegają weryfikacji, opiniowaniu i ocenie przez CNBOP-PIB na etapie projektowania i montażu systemu. Przyjęte rozwiązania techniczne i związane z nimi procedury organizacyjne uzgodnione przez wszystkich interesantów zostają opisane w dokumencie opinii technicznej. Takie podejście do budowy sKSP umożliwia masowe ich wdrażanie w obiektach budowlanych jako skutecznego i niezawodnego rozwiązania.

Systemy KSP mogą być wykorzystywane zarówno w obiektach już istniejących, jak i w tych nowo projektowanych oraz wznoszonych, w których łatwiej wdrażać kompleksowe rozwiązania i integrować poszczególne systemy. Systemy te mogą być stosowane we wszystkich typach obiektów, jednak najbardziej uzasadnione rachunkiem ekonomicznym jest wprowadzenie ich przede wszystkim w obiektach bez całodobowego personelu takich jak budynki użyteczności publicznej, handlowe, biurowe czy usługowe, ale także obiekty zakładów przemysłowych czy obiekty magazynowe. Pierwsze takie systemy w Polsce [1] zostały już wdrożone w placówkach jednego z banków [4].

Literatura

[1] Zboina J., Baran R., Mroczko G., *Kasety straży pożarnej*, „Przegląd Pożarniczy" 2016, 2, 37-39.
[2] CNBOP-PIB W-0002 Wytyczne wyposażania obiektów budowlanych w Kasety Straży Pożarnej, Wydanie 1, Sierpień 2015.
[3] Rozporządzenie MSWiA z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, (Dz. U. 2010 r. Nr 109, poz. 719).
[4] KR-0001/2013 Koncepcja rozwiązań dla ochrony przeciwpożarowej dla wskazanych placówek banku PKO BP pt. „Zastosowanie możliwych dedykowanych rozwiązań dla ochrony przeciwpożarowej zapewniających dostęp straży pożarnej do wskazanych placówek banku PKO BP", rozpatrywane na przykładzie placówki PKO Bank Polski, Oddział 3 w Poznaniu, 61-569 Poznań, ul. Wierzbięcice 3.
[5] CNBOP-PIB W-0001 Wytyczne w zakresie lokalizacji, standaryzacji wykonania i wyposażenia w obiektach budowlanych pomieszczeń obsługi urządzeń przeciwpożarowych wykorzystywanych przez jednostki ochrony przeciwpożarowej do alarmowania o pożarze lub innym zagrożeniu oraz do prowadzenia działań ratowniczych, Józefów 2016.
[6] Gołaszewska M., Nasiorowski A., Ołdak M., *Ochrona przeciwpożarowa – wyroby stosowane w jednostkach ochrony przeciwpożarowej a wyroby budowlane*, standard CNBOP-PIB 0031, Józefów 2014.
[7] PKN-CEN/TS 54-14 Systemy sygnalizacji pożarowej. Część 14: Wytyczne planowania, projektowania, instalowania, odbioru, eksploatacji i konserwacji.
[8] VdS 2350: 2005-11 (01) Schlüsseldepots (SD) Planung, Einbau und Instandhaltung.
[9] VdS 2095en: 2005-02 (06) Guidelines for automatic fire detection and fire alarm systems Planning and Installation.
[10] VdS 5477: 2004-03 (01) Schlüsseldepots.
[11] *Fire Service Features of Buildings and Fire Protection Systems,* Occupational Safety and Health Administration U.S. Department of Labor, OSHA 3256-07N, 2006.
[12] *Fire Safety Planning For Institutional Facilities,* OFM Guideline, Office of the Fire Marshal, OFM-TG-02-1999.
[13] *Keybox politics and procedures,* Division of Fire Prevention Department of Fire and Safety Services, City Saint Paul, 228-6230.

* * *

bryg. dr inż. Jacek Zboina – pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym na stanowisku z-cy dyrektora ds. certyfikacji i dopuszczeń. Specjalizuje się w ochronie przeciwpożarowej, technicznych systemach zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz ocenie zgodności. Absolwent studiów inżynierskich i magisterskich w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Ukończył również studia podyplomowe Menadżer Innowacji w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie. Stopień naukowy doktora nauk społecznych w zakresie nauk o bezpieczeństwie uzyskał w Akademii Marynarki Wojennej w Gdyni na Wydziale Dowodzenia i Operacji Morskich. Oficer PSP. Rzeczoznawca Komendanta Głównego PSP ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych.

st. bryg. mgr inż. Mirosław Pender – pełni służbę w Komendzie Miejskiej PSP w Koszalinie na stanowisku komendanta miejskiego. Absolwent studiów inżynierskich i magisterskich w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Ukończył również studia podyplomowe w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy z elementami zarządzania w Wyższej Szkole Biznesu w Gorzowie Wielkopolskim. Specjalizuje się w ochronie przeciwpożarowej, zapobieganiu poważnym awariom przemysłowym, praktycznym zarządzaniu ratownictwem i ochroną przeciwpożarową.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 231–242

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.21

mgr inż. **Grzegorz Krajewski**[1]
mgr inż. **Wojciech Węgrzyński**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 13.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 19.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Sposób doprowadzenia powietrza kompensacyjnego a wzdłużna wentylacja pożarowa stacji metra[2]

The Influence of Air Supply Methods on Longitudinal Fire Ventilation of Underground Stations

Способ подачи компенсационного воздуха а продольная противопожарная вентиляция станции метро

ABSTRAKT

Cel: Przedstawienie wyników badań własnych autorów w obszarze systemów wentylacji podziemnych obiektów kolejowych na przykładzie sieci metra. Badania obejmowały przede wszystkim powiązanie wpływu sposobu doprowadzenia powietrza kompensacyjnego do obszaru stacji metra ze skutecznością działania systemu wzdłużnej wentylacji tej stacji. Artykuł ma na celu zapoznanie projektantów z możliwym zastosowaniem wentylacji wzdłużnej, także w obszarze stacji podziemnych, poprzez podkreślenie wad i zalet tego rozwiązania. Artykuł zredagowano na podstawie wyników badań prezentowanych na konferencji „Budownictwo podziemne i bezpieczeństwo w komunikacji drogowej i infrastrukturze miejskiej" (Kraków 2016).
Wprowadzenie: Jednym z dopuszczonych do stosowania rozwiązań wentylacji pożarowej podziemnych stacji kolei (metra) jest system wentylacji wzdłużnej, bazujący na rozwiązaniach podobnych do tych wykorzystywanych w wentylacji tuneli. Systemy wentylacji wzdłużnej mogą zapewnić podobne warunki środowiska do systemów poprzecznych (oddymiania). Chronią one cały obszar stacji i zapewniają drogę wejścia dla ekip ratowniczo-gaśniczych. Aby spełniały te funkcje, należy poprawnie dobrać metodę doprowadzenia powietrza kompensacyjnego do obszaru stacji, zarówno w sposób mechaniczny, jak i naturalny. Duże znaczenie ma również stosunek ilości powietrza doprowadzanego w sposób mechaniczny oraz grawitacyjny. W artykule autorzy prezentują wyniki przeprowadzonego krótkiego programu badań numerycznych, w ramach którego analizowano wpływ bilansu powietrza doprowadzanego na efekty działania systemu wentylacji pożarowej peronów.
Metodologia: W pracy przedstawiono w głównej mierze wyniki badań własnych autorów, wykonanych z wykorzystaniem metody obliczeniowej mechaniki płynów (CFD), które osadzono w kontekście literaturowym tematu. Dodatkowo zaprezentowano własne doświadczenia zdobyte w trakcie kilkuset testów z gorącym dymem w trakcie odbiorów II linii Metra Warszawskiego.
Wnioski: Systemy wentylacji pożarowej wzdłużnej są w stanie zapewnić porównywalne warunki środowiska w obrębie tuneli i stacji metra do systemów poprzecznych. Działanie systemu wzdłużnego można uznać za bezpieczniejsze z punktu widzenia ratowników prowadzących działania ratowniczo-gaśnicze. Kluczową rolę w określeniu skuteczności systemu mają sposób dostarczania powietrza oraz ilość powietrza, które dostarczane jest mechanicznie.

Słowa kluczowe: wentylacja pożarowa, wentylacja tuneli, wentylacja wzdłużna, metro, kompensacja
Typ artykułu: studium przypadku – analiza zdarzeń rzeczywistych

ABSTRACT

Aim: The purpose of this paper is to reveal the outcome from studies performed by the authors about smoke and heat ventilation systems for underground railway buildings using an underground railway network as an example. Research activity examined, in particular, the link between air supply methods to an underground station area with the effective performance of a longitudinal ventilation system at such a station. The intention for this publication is to increase the design credibility for longitudinal ventilation solutions, including solutions for underground stations, by highlighting associated advantages and disadvantages. This article is based on experimental study results, which were presented at an international conference "Underground Buildings and Road Safety, and the Urban Infrastructure" (Budownictwo podziemne i bezpieczeństwo w komunikacji drogowej i infrastrukturze miejskiej), Kraków 2016.
Introduction: Longitudinal ventilation systems provide one of the approved solutions for underground railway stations and are based on similar solutions applied in the ventilation of road tunnels. Such system may provide similar environmental conditions as with transverse systems, at the same time preserve areas throughout the station from smoke and ensure safe access for firefighting and rescue teams. In order to achieve this, a key issue, which must be addressed, concerns the choice of supply strategy for the delivery of air to the underground location. This may be by

[1] Instytut Techniki Budowlanej / Building Research Institute, Poland / g.krajewski@itb.pl;
[2] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.21

mechanical as well as natural means. Likewise, the volume relationship between air supplied by mechanical and gravitational means has a crucial impact on the performance of the ventilation system. The authors reveal results from a short programme of numerical studies, which analysed the air flow relationship to achieve an optimum balance, and the consequential performance of fire ventilation systems on station platforms.
Methodology: The study reveals results from original research performed by the authors, which is based on the literature review in this area, using the Computational Fluid Dynamics method (CFD), Additionally, numerical study results are supported by the authors personal experience acquired through numerous hot smoke tests performed during the commissioning phase of the Warsaw Metro, Line 2.
Conclusions: Longitudinal systems can provide similar environmental conditions as traditional transverse systems. During firefighting and rescue operations, longitudinal systems provide more safety for firefighters than transverse solutions. The key role in the system performance can be attributed to the supply method and volume of air provided by mechanical means.

Keywords: fire ventilation, tunnel ventilation, longitudinal ventilation, underground railway, air supply
Article type: case study – analysis of actual events

АННОТАЦИЯ

Цель: Представить результаты собственных исследований авторов в области систем вентиляции подземных железнодорожных объектов на примере сети метро. Исследования касались, в основном, влияния способа подачи компенсационного воздуха в район станции метро на эффективность действия системы продольной вентиляции этой станции. Цель статьи заключается в ознакомлении проектантов с возможностью использования продольной вентиляции, в том также в подземных станциях, благодаря выделению преимуществ и недостатков этого решения. Статья была подготовлена на основе результатов исследований, представленных на конференции „Подземное строительство и безопасность дорожного транспорта и городской инфраструктуры" (Краков 2016).
Введение: Одним из одобренных для использования решений пожарной вентиляции подземной железнодорожной станции (метро) является продольная вентиляционная система, основанная на решениях, аналогичных тем, которые используются при вентиляции туннелей. Системы продольной вентиляции могут обеспечить похожие условия окружающей среды как поперечные системы (удаления дыма). Кроме того, они защищают всю территорию станции и обеспечивают вход для спасательно-гасящих бригад. Для того, чтобы они выполняли эти задачи, необходимо правильно выбрать метод подачи компенсационного воздуха в район станции, как механическим, так и естественным путем. Большое значение имеет также соотношение количества воздуха, подаваемого механическим и гравитационным путями. В статье авторы представляют результаты проведенной короткой программы числовых испытаний, в которых проанализировано влияние баланса приточного воздуха на эффекты работы системы противопожарной вентиляции платформ.
Методология: В статье представлены в основном результаты собственных исследований, проведенных с использованием метода вычислительной гидродинамики (CFD), представленные вместе с предметной литературой. Дополнительно, авторы представляют свой собственный опыт, полученный в ходе нескольких сот тестов с горячим дымом во время приема второй линии Варшавского метрополитена.
Выводы: Продольные системы противопожарной вентиляции могут обеспечить сопоставимые условия окружающей среды в туннелях и станциях метро, как поперечные системы. Систему продольной вентиляции можно считать более безопасной для спасателей, проводящих спасательно-гасящие действия. Ключевую роль в определении эффективности системы играют способ подачи воздуха, подаваемого механическим путём и его количество.

Ключевые слова: пожарная вентиляция, туннель, продольная вентиляция, метро, компенсация
Вид статьи: тематическое исследование – анализ реальных случаев

1. Wprowadzenie

W dzisiejszych przepełnionych samochodami miastach podziemne systemy kolei miejskiej są jednym z najczęściej wykorzystywanych rozwiązań transportu publicznego. Ich główną zaletą jest możliwość transportu wielu osób na duże odległości w stosunkowo krótkim czasie. Ich zastosowanie wiąże się jednak z ryzykiem wystąpienia pożarów, dlatego bardzo ważna jest specjalna dbałość o jak najwyższy poziom zabezpieczeń przeciwpożarowych podziemnych przystanków i stacji.

Podziemne stacje stanowią specyficzną formę obiektu budowlanego, który ma postać długiego pomieszczenia z niskim stropem oraz maksymalnie dwiema lub trzema drogami ucieczki dla osób ewakuujących się. Scenariusze rozwoju pożaru w pociągu wskazują, że tak ukształtowana przestrzeń może wypełnić się dymem w ciągu zaledwie kilku minut. Aby umożliwić ewakuację oraz prowadzenie działań ratowniczych w obrębie stacji, należy wykorzystać systemy ujęte we wspólne miano „wentylacji pożarowej". Wymóg ich stosowania jest zawarty bezpośrednio w przepisach techniczno-budowlanych dotyczących stacji metra [1].

Artykuł zredagowano na podstawie wyników badań prezentowanych na konferencji „Budownictwo podziemne i bezpieczeństwo w komunikacji drogowej i infrastrukturze miejskiej" (Kraków 2016) [2].

2. Systemy wentylacji pożarowej stacji metra

W ocenie autorów można wyróżnić trzy zasadnicze rodzaje wentylacji przestrzeni stacji metra:

a) poprzeczną wentylację oddymiającą – rozwiązanie zaprojektowane w oparciu o zasady takie jak w przypadku budynków, z uwzględnieniem osiowosymetrycznej lub rozpływającej się kolumny konwekcyjnej dymu i równań opisujących przepływ dymu w danym układzie architektonicznym;
b) poprzeczną wentylację oddymiającą wraz z pełnym wygrodzeniem torowiska od przestrzeni peronu – rozwiązanie analogiczne do a), jednak z założeniem fizycznego odseparowania przestrzeni peronów, w której może dojść do pożaru pociągu, przez co do obszaru, w którym prowadzona będzie ewakuacja osób dociera zdecydowanie mniejsza ilość dymu;
c) wentylację wzdłużną – transport dymu odbywa się wzdłuż peronu z wykorzystaniem punktów wyciągu w tunelach bądź na krańcach stacji.

Chociaż powyższe rozwiązania można traktować jako różne organizacje systemu oddymiania, składające się z podobnych elementów wykonawczych, należy pamiętać, że cechują je zasadnicze różnice w skuteczności działania, mierzonej warunkami środowiska, jakie poszczególne rozwiązania techniczne są w stanie zapewnić w czasie pożaru. W niniejszym artykule autorzy poruszają zagadnienia związane z działaniem systemów wentylacji wzdłużnej oraz wpływem zmiany lokalizacji niektórych elementów systemów na ich skuteczność.

Działanie systemu wentylacji wzdłużnej w trakcie pożaru można podzielić na dwa okresy. W pierwszym (czas ewaku-

Ryc. 1. Ilustracja działania wentylacji poprzecznej (po lewej stronie) oraz wzdłużnej (po prawej stronie), archiwum autorów
Fig. 1. Illustration of transverse ventilation (left) and longitudinal ventilation (right) system
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

acji osób) system nie pracuje – dym może rozpływać się pod stropem stacji przez określony czas, nie powodując przy tym zagrożenia dla osób ewakuujących się. Po zakończeniu ewakuacji (upłynięciu wcześniej wyznaczonego czasu, zazwyczaj od 4 do 8 minut) wentylatory wyciągowe i nawiewne zostają uruchomione, kierując dym w jednym, wcześniej wybranym kierunku. System po zakończeniu ewakuacji ma zapewnić utrzymanie co najmniej połowy obszaru stacji (w rzucie horyzontalnym, ryc. 1) oraz drogi wejścia do obszaru stacji w stanie niezadymionym. Co ważne, nie jest możliwe zaprojektowanie systemu wentylacji pożarowej stacji metra w oderwaniu od oddziałującej na nią sieci tuneli czy fizycznych połączeń z obszarem zewnętrznym (bezpośrednich lub przez galerię). Strumienie powietrza doprowadzane lub napływające każdą z tych dróg mogą oddziaływać korzystnie lub niekorzystnie na przepływ dymu w samej stacji, a kontrola nad tym oddziaływaniem ma kluczowy wpływ na prawidłowe działanie systemu wentylacji.

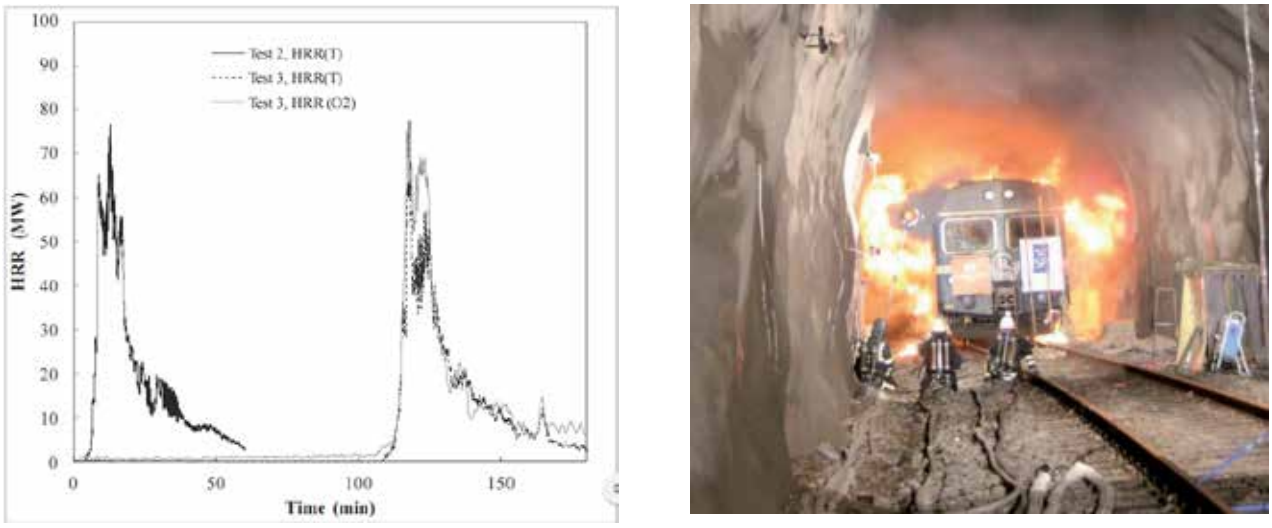
Poza oczywistymi różnicami w działaniu rozwiązań techniczno-budowlanych wentylacji pożarowej stacji metra, każde z nich ma za zadanie zapewnić oddymienie drogi ewakuacji oraz umożliwić służbom ratowniczo-gaśniczym bezpieczne podjęcie działań ratowniczych, co zilustrowano na ryc. 1. W ocenie autorów, literatura opisująca systemy wentylacji pożarowej jest bogata, a referencjami wartymi wymienienia są [3–7]. Przedstawiono w nich ogólne zasady związane z oddymianiem obiektów budowlanych. W odniesieniu do systemów wentylacji pożarowej tuneli kolejowych warto wymienić publikacje poświęcone projektowaniu systemów wentylacji pożarowej [8–12] oraz publikacje [13–15], w których przedstawiono wyniki ciekawych eksperymentów numerycznych dotyczących systemów wentylacji oddymiającej tunelu. W odniesieniu do systemów wentylacji tuneli drogowych, porównanie popularnych metod projektowania systemów wentylacji pożarowej zawarto w pozycji [16]. Bogatym opracowaniem omawiającym aspekty techniczne i projektowe systemów wentylacji pożarowej w przestrzeniach garaży zamkniętych, które często przypominają obszary tuneli drogowych, są wytyczne ITB nr 493/2015 [17-18]. W niniejszej pracy wiedzę zawartą w przedstawionych źródłach wiedzy rozwinięto o rozważania dotyczące strategii doprowadzenia powietrza kompensacyjnego oraz doświadczenia praktyczne autorów z odbiorów technicznych systemów wentylacji II linii Metra Warszawskiego.

3. Wymagania przepisów techniczno-budowlanych

W krajowych przepisach techniczno-budowlanych wymóg stosowania systemów wentylacji pożarowej oraz ich podstawowe wymagania zawarto w Rozporządzeniu Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 r., w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie [1]. W załączniku 1 do Rozporządzenia [1] postawiono wymaganie funkcjonalne względem systemu wentylacji, polegające na obowiązku zapobieżenia zadymieniu stacji, wyjść ewakuacyjnych i pomieszczeń, w których znajdują się urządzenia bezpieczeństwa. Ponadto wszystkie tunele o długości ponad 300 metrów przylegające do stacji powinny być wyposażone w wentylację mechaniczną. Zgodnie z wymogiem rozporządzenia do celów projektowych należy wyznaczyć możliwą moc pożaru w obiekcie, jednak nie mniejszą niż 15 MW. Ustawodawca pozostawia określenie szybkości przyrostu tej mocy projektantom, bez określenia wartości minimalnej lub maksymalnej. Jak wskazuje doświadczenie praktyczne, taka dowolność może być podstawą do nadużyć poprzez przyjęcie jako warunek brzegowy analizy wolnego rozwoju pożaru. Wyniki takiej analizy będą wskazywały na wyższą niż rzeczywista skuteczność działania systemu wentylacji [19]. Za najlepszy punkt odniesienia w kontekście rozwoju pożaru pociągu metra można uznać publikację [20], w której przedstawiono wyniki programu badań „The Metro Project" realizowanego wspólnie w Szwecji i Norwegii. Autorzy programu przeprowadzili dwa pożary w pełnej skali wagonu metra (z pozostawionymi w środku bagażami), ryc. 2. Wynikiem badań są krzywe HRR, przedstawione na ryc. 3, obrazujące rozwój pożaru pociągu metra wraz z pozostawionymi w nim bagażami. Należy zauważyć, że wyniki dwóch przeprowadzonych eksperymentów są ze sobą zbieżne, przy czym zaobserwowano istotne przesunięcie w czasie momentu rozwoju pożaru w każdym z nich. Szczytowa wartość mocy pożaru uzyskana w czasie badania wynosiła ponad 70 MW, co kilkukrotnie przewyższa moc pożaru rekomendowaną w polskich przepisach techniczno-budowlanych. Ważna jest także szybkość przyrostu mocy zmierzona w trakcie badania, która wskazuje, że badania numeryczne związane z pożarami pociągów metra powinny przebiegać co najmniej według tzw. krzywej szybkiego rozwoju pożaru (ang. Fast). Wiedzę dotyczącą doboru pożarów projektowych w tunelach, przede wszystkim drogowych, przedstawiono w publikacjach [9], [21-22], a przykłady pożarów historycznych w pozycjach [10], [23].

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.21

Ryc. 2. Wagon metra typu X1 wykorzystany w badaniach oraz rozmieszczenie bagaży wewnątrz wagonu [20]
Fig. 2. Underground Metro X1 used in the tests showing luggage located inside of the train [20]



Ryc. 3. Krzywe HRR pochodzące z badań oraz widok płonącego pociągu metra [20]
Fig. 3. HRR curves from the tests and a illustration of a burning underground train [20]

W rozporządzeniu [1] zawarto podstawowe wymagania stawiane systemom wentylacji pożarowej w obiektach budowlanych metra, sformułowane w sposób problemowy, a nie nakazowy. W przepisach tych zdefiniowano wartości krytyczne warunków środowiska, będące pośrednio kryteriami oceny skuteczności działania systemu wentylacji pożarowej:

- temperatura powietrza powyżej 60°C na wysokości mniejszej lub równej 1,80 m od poziomu drogi ewakuacyjnej;
- gęstość strumienia promieniowania cieplnego o wartości 2,50 kW/m² przez czas ekspozycji dłuższy niż 30 s;
- temperatura gorących gazów pożarowych powyżej 200°C na wysokości ponad 2,50 m od poziomu drogi ewakuacyjnej;
- zasięg widzialności mniejszy niż 10 m na wysokości mniejszej lub równej 1,80 m od poziomu drogi ewakuacyjnej;
- objętościowe stężenie tlenu poniżej 15%.

Skuteczność działania systemu powinna być wyznaczona przez porównanie dostępnego i wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji, przy czym dla wymaganego czasu bezpiecznej ewakuacji, wyznaczonego z wykorzystaniem narzędzi inżynierskich, należy przyjąć współczynnik bezpieczeństwa nie mniejszy niż 1,30.

Rozporządzenie [1] nie definiuje klasy rozwiązania techniczno-budowlanego w odniesieniu do norm badawczych czy klasyfikacyjnych do zastosowania w obszarze stacji metra – lecz oczekiwany skutek działania systemu. Przypomina to przepis funkcjonalny zawarty w §270.1 przepisów techniczno-budowlanych dla budynków [24] dotyczący systemów wentylacji oddymiającej. W ocenie skuteczności działania systemu ważny jest umowny podział czasu trwania pożaru na dwa okresy – tj. czas ewakuacji (wyznaczany za pomocą np. modeli komputerowych z uwzględnieniem marginesu bezpieczeństwa nie mniejszego niż 1,30) oraz czas prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych. Przepis nie definiuje warunków niezbędnych dla prowadzenia działań – za takie należy uznać udostępnienie co najmniej jednej drogi dostępu do źródła pożaru, w wystarczający sposób oddymionej oraz temperatury w jej obszarze pozwalającej na prowadzenie rutynowych działań ratowniczych. Warunki te, w przypadku pożaru w pełni rozwiniętego o mocy 15 MW, mogą być bardzo trudne do uzyskania przez system poprzeczny – wymaga to zdecydowanego przewymiarowania instalacji względem wydajności niezbędnej dla zapewnienia warunków ewakuacji. Z drugiej strony, w przypadku systemów wentylacji wzdłużnej, uzyskanie warunków umożliwiających prowadzenie działań ratowniczych jest podstawowym skutkiem działania systemu. Transport powietrza wzdłuż stacji (tj. przez cały obszar stacji, aż do punktu wyciągowego zlokalizowanego przy jednym z jej portali) wymusza jednokierunkowy przepływ dymu i ciepła, wraz z utrzymaniem wolnej od dymu drogi, którą powietrze napływa. Oczywiście, uzyskanie powyższego efektu wymaga odpowiedniego zwymiarowania wydajności

systemu wentylacji, co w szczegółach opisano m.in. w Instrukcji ITB nr 490/2013, poświęconej systemom wentylacji pożarowej metra [8].

Poza odpowiednim doborem wydajności systemu wentylacji pożarowej, równie istotne jest określenie sposobu doprowadzenia powietrza kompensacyjnego do przestrzeni stacji. W stacjach chronionych wzdłużnym systemem wentylacji pożarowej, dobór sposobu zapewnienia dopływu świeżego powietrza może być uznany za krytyczny aspekt projektu. Doprowadzenie powietrza w sposób naturalny zapewnia osobom ewakuującym się dostęp do przestrzeni niezadymionej. Może jednak wpływać na przepływ usuwanego dymu, zarówno w sposób pozytywny, jak i negatywny. Główne drogi dostarczania powietrza kompensacyjnego stanowią:

- portale tuneli,
- punkty nawiewu powietrza w tunelach (punkty wyciągowe w trybie rewersu),
- punkty nawiewu powietrza na stacjach (punkty wyciągowe w trybie rewersu),
- wejścia do stacji.

Lokalizacja punktów nawiewu kompensacyjnego nie jest jedyną determinantą sposobu napowietrzania systemu metra – rozwiązania będą różniły się dla stacji znajdujących się na różnych głębokościach, czy w odległych od siebie częściach metra. Sposób napowietrzania powinien być zawsze wynikiem analiz inżynierskich – co najmniej z wykorzystaniem jednowymiarowego modelu przepływu (1-D). Autorzy artykułu, w swojej codziennej pracy wykorzystują do tego celu kompletne trójwymiarowe (3-D) modele sieci metra wraz z ich najbliższym otoczeniem, rozwiązywane z wykorzystaniem metody obliczeniowej mechaniki płynów (CFD) [25-26].

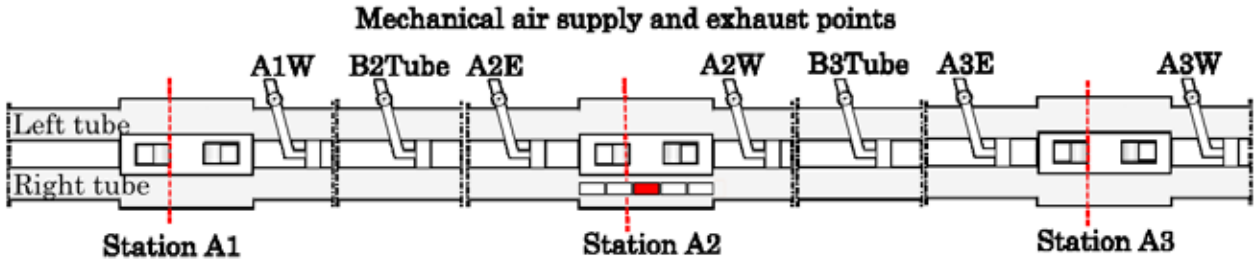
Ilość powietrza dostarczana do systemu może być kontrolowana poprzez regulację mechanicznych punktów nawiewu kompensacyjnego. Punkty grawitacyjne (np. wejścia) będą działały jako wolny wypływ z systemu, uzupełniając różnicę powstałą pomiędzy ilością powietrza usuwanego i nawiewanego mechaniczne. W tym miejscu należy zwrócić uwagę, że w przypadku stacji metra znajdującej się na głębokości kilkudziesięciu metrów, doprowadzenie powietrza w sposób grawitacyjny może być problematyczne. Należy mieć na uwadze także naturalne ruchy powietrza w tunelu, które mogą silnie oddziaływać na bilans powietrza kompensacyjnego. W takim wypadku właściwe jest wykorzystanie większej liczby punktów nawiewu/wyciągu, także zlokalizowanych w odległych stacjach – tylko w celu kontroli przepływu powietrza w całym systemie. W niektórych przypadkach ten sam efekt można osiągnąć wykorzystując kurtyny powietrzne [27].

4. Badania numeryczne nad napowietrzaniem w systemach wzdłużnych

Aby zilustrować skuteczność działania systemu wentylacji wzdłużnej stacji metra przeprowadzono serię obliczeń numerycznych dla scenariusza pożaru pociągu zatrzymanego na stacji metra. Różnice pomiędzy scenariuszami badawczymi polegały na zróżnicowaniu lokalizacji punktów wyciągu dymu oraz zróżnicowaniu sposobu doprowadzenia powietrza kompensacyjnego do obszaru stacji, przy zachowaniu niezmiennego wydatku objętościowego systemu usuwania dymu ze stacji. Sposób doprowadzenia powietrza oraz lokalizację punktów wyciągu i nawiewu kompensacyjnego dla poszczególnych scenariuszy przedstawiono w tabeli 1. Oznaczenia wykorzystane w dalszej części publikacji przedstawiono na ryc. 4. Fragment modelu numerycznego wykorzystanego w pracy zaprezentowano na ryc. 5.

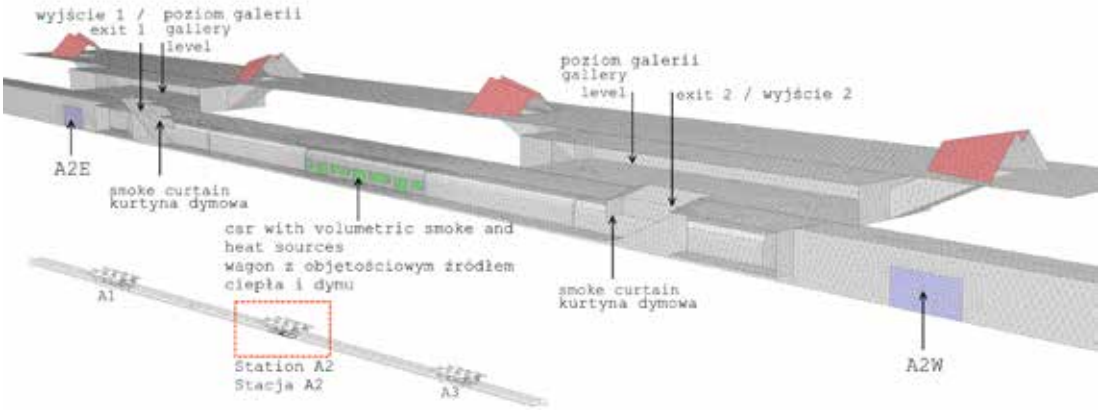
W badaniach nie uwzględniono wpływu wiatru, co jest uproszczeniem prowadzonych rozważań. Oddziaływanie wiatru, w szczególności w obszarze portali tuneli, może mieć wpływ na przepływ dymu wewnątrz tunelu. W przypadku systemów metra zlokalizowanych na dużej głębokości z wieloma miejscami połączenia z zewnętrzem (wyjścia, portale) oddziaływanie to ma mniejszy wpływ na działanie systemu, niż w przypadku np. tuneli drogowych. Wniosek ten autorzy opierają na obserwacjach, które poczyniono w trakcie prowadzonych prób z gorącym dymem w istniejącym systemie metra. Próby prowadzono przez okres 7 miesięcy, w zróżnicowanych warunkach pogodowych. Oddziaływanie wiatru wpływające na skuteczność działania systemów obserwowano wyłącznie na poziomach galerii handlowych. W obszarze samych stacji oddziaływanie wiatru nie było odczuwalne, co można przypisać działaniu poziomu galerii jako „wiatrołapu". Należy zauważyć, że badany tunel z obydwu stron zakończono zamkniętymi komorami, a nie portalami łączącymi ten obszar z powierzchnią. W systemach położonych na niewielkiej głębokości lub częściowo otwartych niekorzystne oddziaływanie wiatru na przepływ powietrza w tunelu można ograniczyć poprzez właściwy bilans powietrza dostarczanego w sposób mechaniczny i grawitacyjny oraz poprzez uruchomienie systemu wentylacji pożarowej w odległych miejscach sieci (np. na sąsiednich stacjach). Uwzględnieniu wpływu wiatru w analizach numerycznych systemów wentylacji pożarowej poświęcono publikację [28].

Pożar zlokalizowano w centralnej części stacji A2, którą podzielono na dwie symetryczne strefy dymowe. Każdy scenariusz działania systemu weryfikowano dla trzech różnych



Ryc. 4. Uproszczony schemat modelu numerycznego wykorzystanego w analizie
Fig. 4. Simplified outline of numerical model used during research
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.21



Ryc. 5. Fragment modelu numerycznego wykorzystanego w analizie (obszar stacji)
Fig. 5. Part of numerical model used in the analysis (station)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 1. Matryca scenariuszy badań numerycznych
Table 1. Scenario matrix for the analysis

Scenariusz Scenario	Wyciąg Exhaust	Nawiew Supply	Komentarz Comment
1	A2W	B2T	50% nawiewu przez wejście stacji A2 50% of supply through station A2 entrance
2	A2W + B3T	B2T	50% nawiewu przez wejście stacji A2 50% of supply through station A2 entrance
3	B3T	B2T	50% nawiewu przez wejście stacji A2 50% of supply through station A2 entrance
4	A2W	B2T	10% nawiewu przez wejście stacji A2 10% of supply through station A2 entrance
5	B3T	A2E + B2T	50% nawiewu przez wejście stacji A2 50% of supply through station A2 entrance
6	A2W (L)	A2E + B2T	wyciąg tylko w jednej nawie exhaust only through one tunnel
7	B3T (L)	A2E + B2T	wyciąg tylko w jednej nawie exhaust only through one tunnel

mocy pożaru 5 MW, 15 MW oraz 25 MW. Oceny dokonywano po 5 minutach od momentu osiągnięcia przez pożar zakładanej mocy całkowitej, przy założeniu, że warunki przepływu powietrza w stacji po tym czasie są ustalone, a zatem będą niezmienne bez względu na moment podjęcia działań gaśniczych przez ekipy ratownicze. Z uwagi na sposób uruchamiania systemu wentylacji opisany w rozdziale 2, nie oceniano warunków ewakuacji – ponieważ system uruchamiany jest z opóźnieniem, nie wpływa on bezpośrednio na te warunki. Oceniano jednak możliwość zadymienia odległych przestrzeni (np. galerii stacji), których użytkownicy mogą zostać zaskoczeni przez gwałtowne zadymienie.

Całkowitą wydajność systemu wentylacji pożarowej dla badanej stacji metra przyjęto jako 300 m^3/s, opierając się na wcześniejszych komercyjnych analizach prowadzonych przez autorów. Wydajność ta jest wystarczająca do uzyskania warunków środowiska wymaganych przez rozporządzenie [1], co udowodniono prowadzonymi obliczeniami numerycznymi, opisanymi w rozdziale 5. Jednocześnie przedstawione wyniki jednoznacznie wskazują, iż nawet przy tak dużej wydajności dla błędnie zaprojektowanego doprowadzenia powietrza kompensacyjnego system wentylacji jest nieskuteczny. Określenie wpływu wydajności wyciągu dymu na skuteczność działania systemu wentylacji, czy przeprowadzenie optymalizacji tego wyciągu nie było przedmiotem tej pracy – praktyczne informacje związane z prawidłowym określaniem wydajności dla systemów wentylacji wzdłużnej w obiektach infrastruktury kolejowej można odnaleźć m.in. w publikacjach [8], [10-11].

Wszystkie analizy prowadzono z wykorzystaniem oprogramowania ANSYS Fluent [29] dla warunków zmiennych w czasie. Wykorzystany model numeryczny został opisany przez autorów we wcześniejszej publikacji dotyczącej wykorzystania zaawansowanych narzędzi inżynierskich w ocenie skuteczności działania wentylacji pożarowej garaży [30]. W opisanych w niniejszej pracy analizach autorzy korzystają z układu równań różniczkowych zachowania masy, energii, pędu (układ równań Naviera-Stokesa) oraz modelu transportu składników mieszaniny, które opisano w szczegółach w [31-32]. W celu rozwiązania przepływu turbulentnego wykorzystano model RANS (Reynolds Avaraged Navier-Stokes) k-ε, w tzw. wariancie standard wraz z wykorzystaniem sub -modelu „enhanced wall treatment" wpływającego na rozwiązanie przepływu powietrza w pobliżu ścian modelu. Do opisu promieniowania cieplnego emitowanego przez pożar oraz warstwę dymu wykorzystano model promieniowania P1. Ściany stacji modelowano jako wykonane z żelbetu, podczas gdy ściany pociągu jako wykonane z izolowanej blachy stalowej.

Dyskretyzacji przestrzeni dokonano za pomocą niestrukturalnej, tetrahedralnej siatki numerycznej. Wymiar boku elementu kontrolnego wynosił do 15 cm w wagonie objętym pożarem, do 50 cm w obszarze oddymianej stacji oraz do 100 cm w pozostałym obszarze domeny obliczeniowej. Wykorzystany w analizie model CFD jest powszechnie używany w obszarze analiz związanych z bezpieczeństwem pożarowym i stanowi podstawowe narzędzie w procesie projektowania

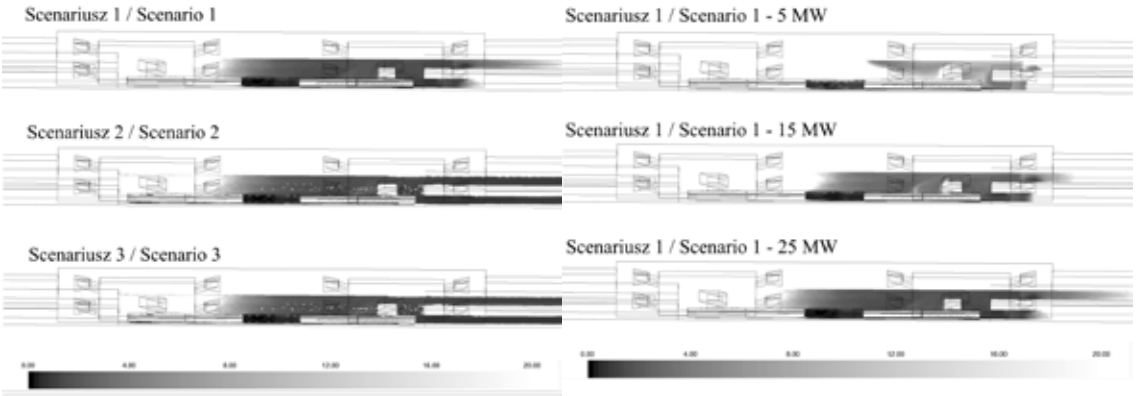
systemów wentylacji pożarowej obiektów podziemnych. Próbę walidacji narzędzia z wykorzystaniem modelu w skali oraz podobieństwa liczby Froude'a autorzy przedstawili w publikacji [33], innymi źródłami opisującymi przydatność analiz CFD w ocenie przepływu dymu są m.in.: [10], [21], [34-35].

5. Wyniki badań numerycznych

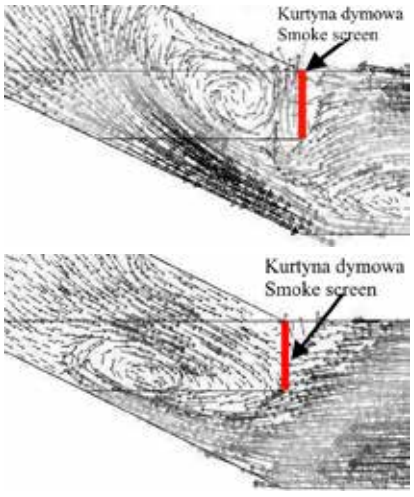
Przeprowadzono 21 analiz numerycznych dla 7 różnych scenariuszy doprowadzenia powietrza kompensacyjnego do obszaru oddymianej stacji metra (zob. tabela 1). Wyniki prowadzonych badań oceniano z uwagi na przewidywany zasięg widzialności znaków w dymie (z powodu ograniczenia w objętości pracy nie opisano wyników oceny względem pozostałych wartości krytycznych zawartych w rozporządzeniu [1]). Zasięg widzialności w dymie jest uznawany za najważniejsze z kryteriów oceny systemów wentylacji pożarowej [36]. Wyniki symulacji wskazują, że w obszarze bez dymu temperatura powietrza była zbliżona do temperatury otoczenia. Na potrzeby niniejszej pracy, za uzasadnione uproszczenie można przyjąć, że kryteria oceny związane z prowadzeniem działań ratowniczo-gaśniczych (temperatura powietrza poniżej 60°C na wysokości 1,80 m, temperatura dymu na wysokości ponad 2,50 m poniżej 200°C oraz gęstość strumienia promieniowania poniżej 2,50 kW/m^2) są spełnione, w obszarze w którym spełnione jest kryterium widzialności w dymie.

Dla pierwszych trzech scenariuszy weryfikowano wpływ zmiany lokalizacji punktu wyciągu na skuteczność działania systemu wentylacji pożarowej. Oceniano także możliwość wykorzystania dwóch mniejszych punktów zamiast pojedynczego o dużej wydajności. Wraz ze zmianą lokalizacji punktu usuwającego dym nie zaobserwowano zmiany w jakości warunków środowiska na samej stacji, przy czym przepływy w przyległych tunelach oraz galerii stacji różniły się w każdym scenariuszu (ryc. 6). W przypadku scenariuszy wykorzystujących punkty wyciągowe w samym tunelu dym nie przemieścił się poza lokalizację punktu wyciągowego, przy czym w scenariuszu 1 przy mocy pożaru 25 MW zaobserwowano niewielki ruch dymu w kierunku jednego z tuneli. We wszystkich trzech scenariuszach dym nie dotarł do galerii – zatrzymał się na kurtynie dymowej i był odpychany od drogi ewakuacji strumieniem napływającego powietrza kompensacyjnego (ryc. 7). W analogicznym scenariuszu 4, w którym około 90% usuwanego powietrza dostarczano w sposób mechaniczny, dym przeniknął do galerii stacji po około 5 minutach analizy, co przedstawiono na ryc. 8. Taki przepływ dymu może stanowić zagrożenie dla zdrowia i życia pasażerów, gdyż mogą oni nie spodziewać się gwałtownego napływu dymu ze źródła pożaru, którego nie widzą lub którego nie są świadomi.

W scenariuszu nr 5 oceniano możliwe skutki wykrycia pożaru w błędnej strefie detekcji. W przypadku systemów po-



Ryc. 6. Porównanie zasięgu widzialności (0 – 20 m i więcej) na wysokości 2,00 m powyżej poziomu peronu
Fig. 6. Visibility range comparison (0 – 20 m, and more) at a height of 2,00 m above the platform
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 7. Wpływ obecności kurtyny dymowej na przepływ dymu przez schody stacji dla 5 MW i 25 MW
Fig. 7. The influence of a smoke screen on the flow of air along a station staircase at 5 MW and 25 MW
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.21

Ryc. 8. Wypływ dymu na galerię stacji w scenariuszu 4 (25 MW)
Fig. 8. Smoke penetration across the station passageways in scenario 4 at 25 MW
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

przecznych, dla których nie zrealizowano fizycznego oddzielenia stref detekcji (np. kurtynami dymowymi), oczekuje się, że system z równą skutecznością poradzi sobie z zagrożeniem pożarowym, nawet w przypadku błędnego wykrycia pożaru. Cel w obszarze peronu został osiągnięty (ryc. 9), przy czym podobnie jak w scenariuszu 4, doszło do zadymienia galerii stacji, przy mocy pożaru 25 MW. W tym wypadku akceptacja takiego stanu jest możliwa, jednak musi być wynikiem analizy ryzyka i prawdopodobieństwa błędnego wykrycia pożaru.

W przypadku scenariuszy, w których wykorzystywano pojedynczy punkt wyciągowy w jednym z tuneli, oczekiwano zadymienia jedynie ¼ obszaru stacji, lecz efekt ten udało się osiągnąć wyłącznie dla mocy pożaru 5,00 MW, ryc. 10. W przypadku pożarów o większej mocy efekt tracił na sile, a zadymieniu ulegała coraz większa część stacji. Pozytywny efekt podziału stacji na 4 części obserwowano w trakcie prób z gorącym dymem – jednak należy mieć na uwadze, że takie próby prowadzi się ze źródłem o mocy nieprzekraczającej 2,00 MW.

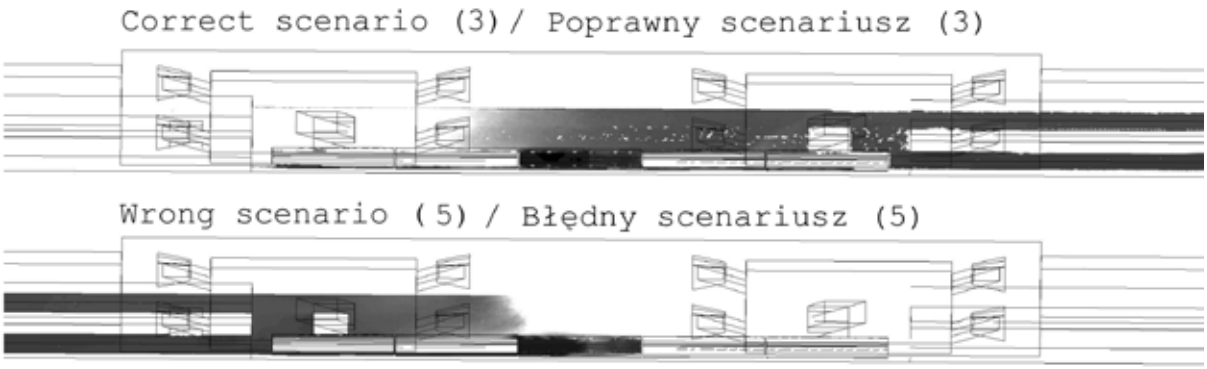
W symulacjach oraz w trakcie prób rzeczywistych zaobserwowano także przepływ dymu w kierunku sąsiedniej stacji. W trakcie symulacji po 20 minutach dym znajdował się w około 70% długości jednego z tuneli (ryc. 11), podczas gdy w badaniach rzeczywistych dym osiągał sąsiednią stację po upływie około 15-25 minut.

6. Wnioski

Systemy wzdłużne mogą być skutecznym rozwiązaniem wentylacji pożarowej stacji metra. Dobry projekt wymaga szerokiej, wielopłaszczyznowej analizy parametrów, takich jak lokalizacja punktu nawiewu powietrza, bilans powietrza oraz lokalizacja przegród dla przepływu dymu. Nawet w przypadku pożaru o mocy 25 MW, system wzdłużny był w stanie zapewnić bezpieczną drogę dojścia dla ekip ratowniczo-gaśniczych, co było możliwe dzięki dostarczaniu powietrza przez galerię stacji. Uzyskane wyniki analiz numerycznych potwierdzają obserwacje autorów publikacji z prób z gorącym dymem w istniejącym systemie metra.

Przeprowadzone badania potwierdziły także, że analiza wyłącznie dla zimnych przepływów nie jest wystarczająca do oceny działania systemu – bilans powietrza oraz kierunki przepływów zmieniały się wraz z rosnącą mocą pożaru, co uwidoczniono w porównaniu wyników analiz numerycznych dla różnych mocy pożaru.

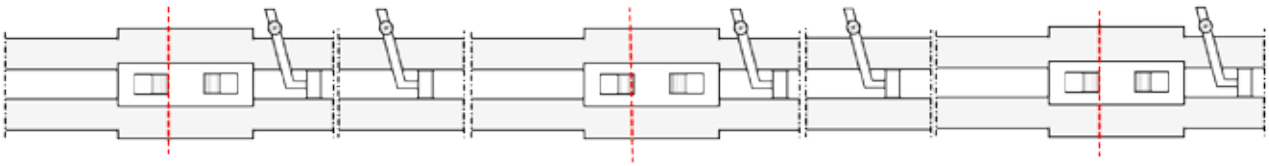
Do wykonania skutecznego systemu wentylacji wzdłużnej metra, konfiguracji tuneli oraz stacji zbliżonych do przedstawionych w niniejszej pracy, za wystarczające można uznać wykorzystanie trzech punktów wyciągu dla każdej stacji (po jednym w każdym przyległym tunelu oraz na co najmniej jednej głowicy stacji – ryc. 12. Wprowadzenie dodatkowego czwartego punktu (punkty wyciągowe na obydwu krańcach



Ryc. 9. Efekt działania systemu dla błędnego scenariusza detekcji
Fig. 9. Consequence of system operation in an incorrect scenario mode
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Ryc. 10. Zadymienie ¼ obszaru stacji obserwowane w przypadku prób z gorącym dymem oraz w analizie numerycznej dla małej mocy pożaru
Fig. 10. 25% of station area filled with smoke, observed during hot smoke tests and numerical analysis of small fire intensity
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Ryc. 11. Dym przemieszczający się w kierunku sąsiedniej stacji, 20 minuta analizy
Fig. 11. Movement of smoke in the direction of a neighboring station – 20th minute of analysis
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 12. Konfiguracja szachtów wyciągowych wystarczająca do realizacji systemu wzdłużnego
Fig. 12. Shaft configuration providing sufficient exit points for longitudinal ventilation
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

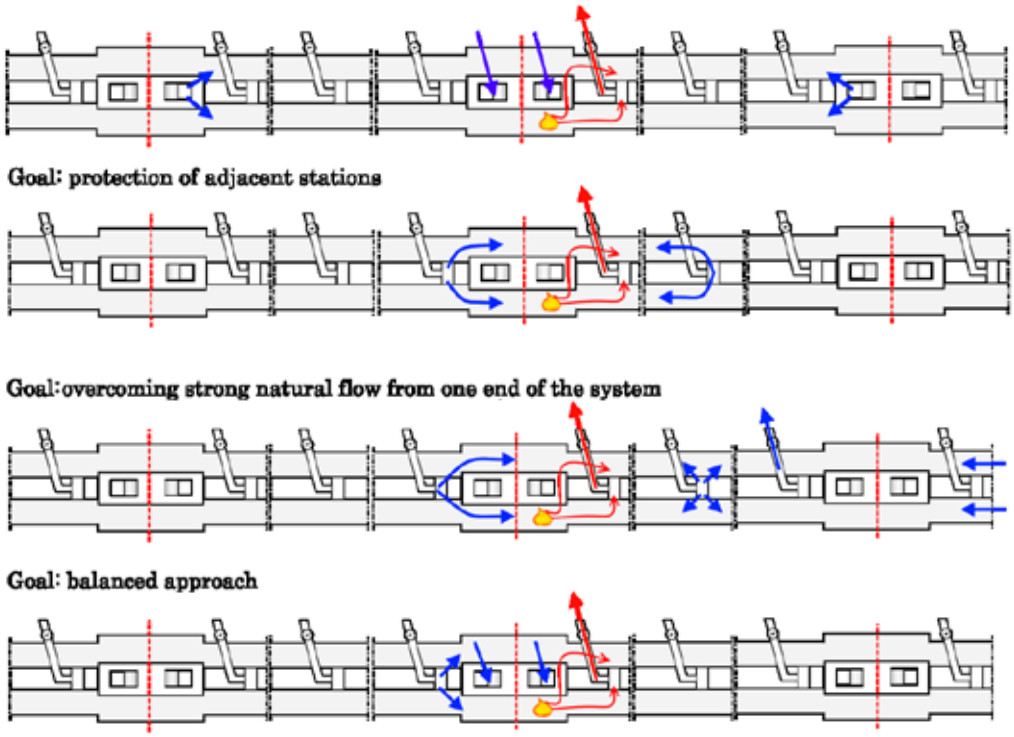
stacji) nie wpływa w sposób istotny na skuteczność działania systemu, co przedstawiono w scenariuszach 1-3.

Na podstawie przeprowadzonych badań numerycznych oraz obserwacji w czasie odbiorów technicznych linii metra autorzy wskazują trzy sposoby kompensacji powietrza dla systemów wentylacji wzdłużnej stacji metra, zależne od oczekiwanego celu projektowego, co zilustrowano także na ryc. 13.

1. Cel: ochrona dróg ewakuacji stacji – najskuteczniejszy był system kompensacji około 50% powietrza w sposób mechaniczny i doprowadzenie powietrza przede wszystkim drogami ewakuacji stacji (analizowany scenariusz 4). Z obserwacji praktycznych w czasie odbiorów linii metra wynika, iż wskazane jest doprowadzenie powietrza poprzez systemy wentylacji na stacjach sąsiednich, do stacji oddymianej.
2. Cel: ochrona sąsiednich stacji / tuneli – napowietrzanie stacji i usuwanie dymu poprzez najbliższe punkty nawiewu mechanicznego powodowało zatrzymanie dymu, który nie przedostawał się do sąsiednich stacji;
3. Cel: poprawne działanie systemu przy silnym przepływie wzdłużnym powietrza w systemie (np. przy dużej różnicy wysokości) – uruchomienie systemu wentylacji pożarowej w odległych częściach systemu (np. na sąsiednich stacjach) powoduje zatrzymanie przepływu powietrza wzdłuż tunelu metra, co pozwala na skuteczną pracę systemu w obrębie stacji objętej pożarem;

W przypadku braku możliwości jednoczesnego sterowania systemami wentylacji pożarowej wielu stacji, za zbilansowane podejście, wykorzystujące systemy wyłącznie jednej ze stacji metra, można uznać połączone napowietrzanie mechaniczne z punktu nawiewnego w tunelu wraz z doprowadzeniem części powietrza w sposób naturalny przez galerię tej stacji. Doprowadzenie powietrza w ten sposób powinno pozwolić na jednoczesne zabezpieczenie dróg ewakuacji stacji, jak i uzyskanie warunków środowiska umożliwiających podjęcie działań ratowniczo-gaśniczych. Dym może przedostać

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.21



Ryc. 13. Rekomendowane strategie napowietrzania stacji
Fig. 13. Recommended air supply strategies for the station
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

się do sąsiedniej stacji, lecz czas po jakim to nastąpi wynosi kilkanaście do kilkudziesięciu minut.

Przedstawione wyniki badań mogą znaleźć wykorzystanie praktyczne w systemach metra zbliżonych do analizowanego przykładu – stacje podziemne z pojedynczym peronem, połączone tunelami, z wyjściem na zewnątrz prowadzącym przez pośredni poziom galerii. W przypadku stacji o innej architekturze (np. o suficie na wysokości powyżej 6 m), wielu peronach czy stacjach o bezpośrednim wyjściu na zewnątrz, wykorzystanie wniosków zawartych w pracy wymaga indywidualnej analizy. Na szczególną uwagę zasługują stacje, na których krzyżują się różne linie metra – przepływy powodowane ruchem pociągów w wyniku powstającego efektu tłoka mogą zakłócać przepływ powietrza w sąsiedniej linii – podobne zjawisko obserwowano w miejscu połączenia dwóch linii Metra Warszawskiego.

Podziękowania

Autorzy dziękują Organizatorom oraz Radzie Naukowej cyklicznej konferencji „Budownictwo podziemne i bezpieczeństwo w komunikacji drogowej i infrastrukturze miejskiej" za stworzenie unikalnej w skali kraju, niezwykle cennej, platformy wymiany wiedzy związanej z bezpieczeństwem pożarowym obiektów podziemnych.

Literatura

[1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 17 czerwca 2011 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty budowlane metra i ich usytuowanie (Dz. U. 2011 Nr 144, poz. 859).
[2] Węgrzyński W., Krajewski G., *Strategia kompensacji systemów wentylacji wzdłużnej stacji metra*, [w:] *Budownictwo podziemne i bezpieczeństwo w komunikacji drogowej i infrastrukturze miejskiej*, Kraków 2016.
[3] Mizieliński B., Kubicki G., *Wentylacja pożarowa Oddymianie*, Wydawnictwo WNT, Warszawa 2012.
[4] Brzezińska D., Wentylacja pożarowa obiektów budowlanych, Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2015.
[5] Milke J.A., *Smoke Control by Mechanical Exhaust or Natural Venting*, [in:] *SFPE Handb. Fire Prot. Eng.*, Springer New York, New York 2016, 1824–1862.
[6] Klote J.H., *Smoke Control*, [in:] *SFPE Handb. Fire Prot. Eng.*, Springer New York, New York 2016, 1785–1823.
[7] Klote J.H., Milke J.A., *Principles of Smoke Management*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers Inc., Atlanta 2002.
[8] Sztarbała G., *Projektowanie systemów wentylacji pożarowej sieci metra*, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2014.
[9] Ingason H., Li Y.Z., Lönnermark A., *Tunnel Fire Dynamics*, Springer, New York 2015.
[10] Beard A., Carvel R., *The handbook of tunnel fire safety*, Thomas Telford Publishing, London 2005.
[11] NFPA, NFPA 502 Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, 2017.
[12] Węgrzyński W., Krajewski G., *Wentylacja pożarowa tuneli drogowych*, „Materiały Budowlane" 2015, 2, 14-16.
[13] Meng N., Hu L., Wu L., Yang L., Zhu S., Chen L., Tang W., *Numerical study on the optimization of smoke ventilation mode at the conjunction area between tunnel track and platform in emergency of a train fire at subway station*, "Tunn. Undergr. Sp. Technol" 2014, 40, 151-159.
[14] Harish R., Venkatasubbaiah K., *Effects of buoyancy induced roof ventilation systems for smoke removal in tunnel fires*, "Tunn. Undergr. Sp. Technol." 2014, 42, 195-205.
[15] Colella F., Rein G., Carvel R., Reszka P., Torero J.L., *Analysis of the ventilation systems in the Dartford tunnels using a multi-scale modelling approach*, "Tunn. Undergr. Sp. Technol." 2010, 25, 423-432.
[16] Krajewski G., Węgrzyński W., *Porównanie wybranych metod doboru systemów wentylacji pożarowej tuneli drogowych*, „Materiały Budowlane" 2014, 10, 155-157.

[17] Węgrzyński W., Krajewski G., *Systemy wentylacji pożarowej garaży. Projektowanie, ocena, odbiór,* 493/2015 ed., Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2015.
[18] Krajewski G., Węgrzyński W., *Projektowanie wentylacji pożarowej garaży*, „Materiały Budowlane" 2015, 7, 56-58.
[19] Węgrzyński W., Krajewski G., *Dobór modeli oraz warunków brzegowych a wynik analizy numerycznej rozprzestrzeniania się dymu i ciepła*, „Materiały Budowlane" 2014, 10, 144-146.
[20] Ingason H., Kumm M., Nilsson D., Lönnermark A., Li Y.Z., Fridolf K., Åkerstedt K., Nyman H, Dittmer T., Forsen R., Janzon B., Meyer G., Bryntse A., Carlberg T., Newlove-Eriksson L., Palm A., The METRO project - Final report, [in:] SiST 20128, Västerås: School of Sustainable Development of Society and Technology, Mälardalen University, 2012.
[21] Li Y.Z., Fan C.G., Ingason H., Lönnermark A., Ji J., E*ffect of cross section and ventilation on heat release rates in tunnel fires*, "Tunnelling and Underground Space Technology" 2016, 51, 414-423.
[22] Carvel R., Ingason H., *Fires in Vehicle Tunnels*, in: *SFPE Handb. Fire Prot. Eng.*, Springer New York, New York 2016, 3303-3325.
[23] Chojnacki K., Fabryczewska A., *Bezpieczeństwo pożarowe w tunelach*, „Górnictwo i Geoinżynieria" 2005, 29, 145-156.
[24] 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.).
[25] Węgrzyński W., Krajewski G., *Doświadczenia z wykorzystania narzędzi inżynierskich do oceny skuteczności funkcjonowania systemów wentylacji oddymiającej*, „Materiały Budowlane" 2014, 7, 26-29.
[26] Krajewski G., Sulik P., Węgrzyński W., M*etody numeryczne w projektowaniu systemów wentylacji pożarowej tuneli drogowych*, „Logistyka" 2014, 6.
[27] Krajewski G., Węgrzyński W., A*ir curtain as a barrier for smoke in case of fire: Numerical modelling*, "Bull. Polish Acad. Sci. Tech. Sci." 2015, 63, 145-153.
[28] Węgrzyński W., Krajewski G., *Combined Wind Engineering, Smoke Flow and Evacuation Analysis for a Design of a Natural Smoke and Heat Ventilation System*, "Procedia Eng" 2016.
[29] ANSYS, ANSYS Fluent 14.5.0 - Technical Documentation, 2014.
[30] 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, pp. 141-156.
[31] Sztarbała G., *Computational fluid dynamics as a tool of fire engineers – good practice*, [in:] *Proc. EuroFire 2011 5th Eur. Conf. Fire Saf. Eng. Trends Pract. Appl.* 1, 2011.
[32] McGrattan K., McDermott R., Floyd J., Hostikka S., Forney G., Baum H., *Computational fluid dynamics modelling of fire*, "Int. J. Comut. Fluid Dyn." 2012, 26349–361.
[33] Węgrzyński W., Krajewski G., *Wykorzystanie badań w skali modelowej do weryfikacji obliczeń CFD wentylacji pożarowej w tunelach komunikacyjnych*, „Bud. Górnicze i Tunelowe" 2014, 1–7.
[34] Li Y.Z., Ingason H., *Model scale tunnel fire tests with automatic sprinkler*, "Fire Saf. J." 2013, 61, 298–313.
[35] Giesen B.J.M. v.d., Penders S.H.A., Loomans M.G.L.C., Rutten P.G.S., Hensen J.L.M., *Modelling and simulation of a jet fan for controlled air flow in large enclosures*, "Environ. Model. Softw." 2011, 26, 191–200.
[36] Levy C., *Assessing Variability in Engineer Selection of Tenability Criteria*, [in:] *SFPE Eur. Conf. Fire Saf. Eng.*, SFPE, 2015.

* * *

mgr inż. Wojciech Węgrzyński – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, doktorant w Instytucie Techniki Budowlanej. Od 2010 roku zatrudniony w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej. Obecnie pełni funkcję Kierownika Pracowni Kontroli Dymu, Sygnalizacji i Automatyki Pożarowej. Obszarem zainteresowań naukowych autora są zjawiska związane z przepływem dymu i wentylacją pożarową, rozwojem pożaru oraz narzędzia inżynierskie wykorzystywane w ich analizie. Współautor Instrukcji ITB nr 493/2015, dotyczącej systemów wentylacji pożarowej garaży podziemnych.

mgr inż. Grzegorz Krajewski – pracownik Zakładu Badań Ogniowych Instytutu Techniki budowlanej od 2007 r. Ukończył wydział Inżynierii Środowiska na Politechnice Warszawskiej. Specjalizuje się w zakresie analiz numerycznych z wykorzystaniem metody numerycznej mechaniki płynów (CFD) w szczególności w obszarze rozprzestrzeniania się dymu i ciepła oraz oddziaływania warunków środowiska zewnętrznego na obiekty budowlane (przepływy wewnętrzne, aerodynamika obiektów budowlanych). Współautor opracowań z projektów badawczo-rozwojowych oraz szeregu artykułów i publikacji naukowo technicznych na konferencjach krajowych i zagranicznych o tematyce związanej z bezpieczeństwem pożarowym, inżynierią wiatrową oraz analizami numerycznymi. Współautor Instrukcji ITB nr 493/2015, dotyczącej systemów wentylacji pożarowej garaży podziemnych.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 243–252

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.22

mgr inż. **Grzegorz Krajewski**[1]
mgr inż. **Wojciech Węgrzyński**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 13.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 19.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Bariera powietrzna jako podział przestrzeni o charakterze liniowym w warunkach pożaru[2]

Air Barrier as a Compartmentation of Longontidual Space in Fire Conditions

Использование воздушной преграды для разделения линейного пространства в условиях пожара

ABSTRAKT

Cel: Przedstawienie wyników badań własnych autorów w obszarze zastosowania barier powietrznych do wydzielenia obszarów niezadymionych w czasie pożaru w przestrzeniach o charakterze liniowym. Wyniki zaprezentowane w pracy są rezultatem badań przeprowadzonych w Zakładzie Badań Ogniowych ITB.
Wprowadzenie: Bariery powietrzne są stosowane jako „wirtualne przegrody" pozwalające na zredukowanie wymiany ciepła i masy pomiędzy dwoma przyległymi do siebie strefami o różnych parametrach środowiska. Bariera powietrzna wytwarza odpowiednio duże ciśnienie dynamiczne na wylocie, uniemożliwiając tym samym poprzeczny przepływ poprzez otwór, w którym jest zlokalizowana. Kurtyny powietrzne mogą być wykorzystane do ograniczenia rozprzestrzeniania dymu w przypadku pożaru poprzez wydzielenie stref niezadymionych. Prawidłowe zastosowanie bariery powietrznej jako elementu systemu wentylacji pożarowej pozwala na podzielenie przestrzeni liniowych, jakimi są np. korytarze, na odcinki, w których dym będzie utrzymywany w obszarze od kurtyny do wyciągu powietrza. Jednym z kluczowych aspektów w tym obszarze jest zapewnienie jak najwyższej szczelności takiej kurtyny.
Metodologia: W pracy przedstawiono wyniki badań laboratoryjnych przeprowadzonych w skali rzeczywistej, które są podstawą do weryfikacji przyjętego modelu numerycznego. Badania dotyczyły pomiaru rozkładu prędkości w osi płaskiej strugi ograniczonej dla różnych szerokości szczeliny nawiewnej. Po przeprowadzonej weryfikacji wykonano szereg analiz numerycznych funkcjonowania bariery powietrznej dla różnych zmiennych, do których należały: wysokość korytarza, szerokość szczeliny nawiewnej, prędkość w przekroju korytarza przy uwzględnieniu oddziaływania gazów powstałych w wyniku pożaru.
Wnioski: W przypadku przestrzeni o charakterze liniowym, takich jak korytarze czy tunele, dym i ciepło powstałe w czasie pożaru rozprzestrzeniają się znacznie szybciej niż w przestrzeniach o dużej kubaturze i rozległej geometrii. Z uwagi na ewakuację ludzi i podjęcie działań ratowniczo-gaśniczych istotne jest ograniczenie obszaru, w którym dym może się rozprzestrzenić. Bariery powietrzne o prawidłowo dobranych parametrach są w stanie skutecznie powstrzymać rozprzestrzenianie się dymu i ciepła dzięki wytworzeniu „przegrody", która jednocześnie umożliwia swobodny przepływ ludzi i urządzeń. W zależności od wymagań stawianych przez projektanta kurtyna może być „przegrodą" dla dymu i ciepła bądź tylko dla dymu (co wiąże się z niższymi prędkościami na wylocie ze szczeliny nawiewnej). Rozwiązanie to może być stosowane zarówno w tunelach, łącznikach między stacjami, korytarzach, jak i wszelkich przestrzeniach, gdzie zastosowanie stałej przegrody w postaci drzwi nie jest możliwe.

Słowa kluczowe: wentylacja pożarowa, bariery powietrzne, wentylacja korytarzy
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Objective: The aim of the paper is to present the results of research carried out by the authors in the field of using air barriers to separate smoke-free areas during a fire in linear spaces. The results presented in the paper are a culmination of research conducted at the Fire Research Department of the Building Research Institute.
Introduction: Air barriers are used as virtual partitions for reducing heat and mass transfer between two zones adjacent to each other of different environmental parameters. It produces sufficiently high dynamic pressure at the exit, thereby preventing lateral movement through the aperture in which it is located. Air curtains can be used to limit the spread of smoke in case of a fire by separating smoke-free zones. Proper use of air barrier as part of a fire ventilation system allows to divide linear spaces such as corridors into sections, where the smoke will be maintained in the area from the curtain to the air extraction shaft. One of key aspects is to ensure the highest tightness of the curtain.
Methodology: The study presents the results of laboratory tests in real scale, which is the basis for verification of the adopted numerical model.

[1] Instytut Techniki Budowlanej / Building Research Institute, Poland; g.krajewski@itb.pl;
[2] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.22

The research referred to the measurement of velocity distribution in the axis of a flat jet limited for different widths of the inlet slot. After verification, a series of numerical analyzes was carried out to estimate the functioning of the air barrier for different variables, which included: the height of the corridor, the width of the slot diffuser, the speed in the cross-section of the corridor taking into account the interaction of gases produced by the fire.
Conclusions: In the linear spaces which are corridors and tunnels, smoke and heat caused by the fire spread much faster than in areas of large volume and extensive geometry. Due to the evacuation of people and rescue and firefighting operations, it is essential to limit the area where the smoke and heat can spread. Air barriers with properly selected parameters can effectively stop the spread of smoke and heat by creating a "partition", which also allows free movement of people and equipment. Depending on the requirements set by the designer, an air barrier can be used as a partition for smoke and heat, or only for smoke which is associated with lower velocities at the outlet of the inlet slot. This solution can be used in tunnels, connections between stations, corridors and all areas where the use of a fixed partition in the form of solid doors is impossible.

Keywords: fire ventilation, air barrier, corridor ventilation
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Представить результаты собственных исследований авторов в области использования воздушных преград для выделения незадымлённых участков во время пожара в линейном пространстве. Результаты, представленные в работе, являются кульминацией исследований, проведенных в Отделе огневых испытаний.
Введение: Воздушные преграды используются в качестве виртуальных преград для уменьшения тепло- и массообмена между двумя соседними зонами с разными характеристиками окружающей среды. Преграда производит достаточно высокое динамическое давление на выходе, тем самым предотвращая поперечное перемещение через отверстие, в котором она расположена. Воздушные преграды могут быть использованы для ограничения распространения дыма в случае пожара и выделения незадымленных зон. Правильное использование воздушной преграды в качестве компонента системы пожарной вентиляции, позволяет разделить линейные пространства, такие как коридоры, на секции, в которых дым будет задерживаться в районе от преграды до места выхода воздуха. Одним из ключевых аспектов является обеспечение максимальной герметичности преграды.
Методология: В исследовании представлены результаты лабораторных испытаний проведенных в реальном масштабе, которые являются основой для проверки принятой числовой модели. Исследования касались измерения распределения скорости по оси плоской струи, ограниченной для различной ширины отверстия диффузора. После проверки, проведена серия числовых анализов функционирования воздушной преграды для различных переменных, к которым принадлежали: высота коридора, ширина отверстия диффузора, скорость в поперечном сечении коридора с учетом взаимодействия газов, возникших в ходе пожара.
Выводы: В случае линейного пространства, которым являются в частности коридоры и туннели, дым и тепло, которые появились во время пожара, распространяются гораздо быстрее, чем в пространствах большой кубатуры и обширной геометрии. Из-за эвакуации людей и проведения спасательно-гасящих действий необходимо изолировать место, в которое может распространяться дым. Воздушные барьеры с правильно подобранными параметрами способны эффективно остановить распространение дыма и тепла, создавая „преграду", которая в то же время позволяет свободно передвигаться людям и оборудованию. В зависимости от требований проектанта преграда может быть барьером для дыма и тепла, или только дыма. Это связано с более низкими скоростями на выходе воздуха из отверстия. Это решение может быть использовано как в туннелях, соединениях между станциями, в коридорах и других помещениях, где использование стационарной перегородки в виде двери является невозможным.

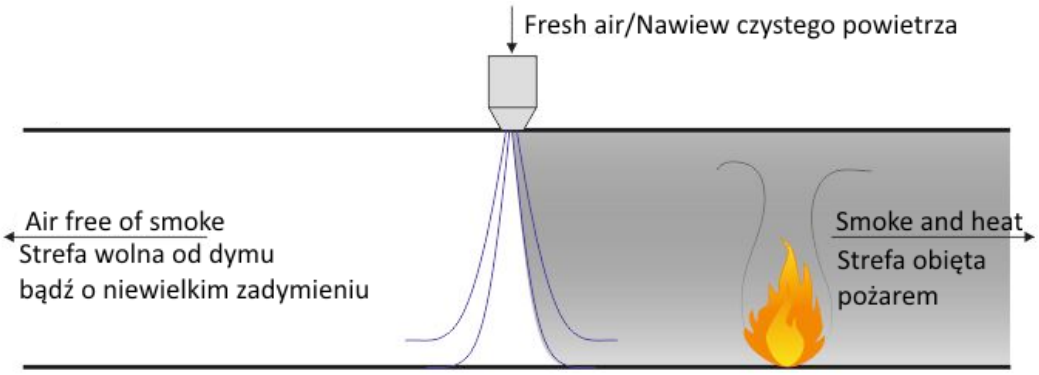
Ключевые слова: пожарная вентиляция, воздушные барьеры, вентиляция коридоров
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych zadań towarzyszących wznoszeniu nowych obiektów budowlanych oraz modernizacji obiektów już istniejących jest zapewnienie wymaganego bezpieczeństwa pożarowego. Zadanie to można realizować poprzez zastosowanie zarówno zabezpieczeń pasywnych w postaci przegród budowlanych o odpowiedniej klasie odporności ogniowej, jak i rozwiązań aktywnych w postaci różnorodnych systemów i instalacji, takich jak systemy detekcji pożaru, tryskaczy oraz wentylacji pożarowej. Podstawowym założeniem systemów wentylacji pożarowej jest wydzielenie obszarów o ograniczonym zadymieniu, które umożliwią ewakuację użytkowników obiektu oraz prowadzenie działań ratowniczo-gaśniczych. W większości budynków i obiektów budowlanych pomieszczenia techniczne oraz lokale handlowo-usługowe połączone są tzw. przestrzeniami o charakterze liniowym. Typowym ich przykładem są korytarze umożliwiające ludziom przemieszczanie się pomiędzy poszczególnymi pomieszczeniami bądź przyległymi do nich obszarami.

W przypadku pożaru w obiektach liniowych (np. korytarzach, tunelach bądź pionowych ciągach komunikacyjnych) bardzo ważne jest ograniczenie rozprzestrzeniania się dymu i ciepła, które pozwoli zachować w tych obiektach wymagane warunki środowiska. Rozprzestrzenianie się dymu i przepływ ciepła podczas pożaru można ograniczyć między innymi poprzez podział przestrzeni za pomocą przegród budowlanych. Tego typu rozwiązanie nie zawsze jest możliwe do zastosowania z uwagi na uwarunkowania architektoniczne i funkcjonalne. Ponadto przegrody fizyczne ograniczają dostęp do strefy objętej pożarem oraz możliwość przemieszczania się. Zdaniem autorów innym rozwiązaniem, które w wielu przypadkach może z powodzeniem zastąpić fizyczną przegrodę budowlaną, jest bariera, która spełniałaby rolę przegrody fizycznej ograniczającej rozprzestrzenianie się dymu i przepływ ciepła, ale jednocześnie nie zakłócałaby ruchu osób i urządzeń. Proponowane rozwiązanie to bariera powietrzna, która łączy obie wyżej wymienione cechy (ryc. 1).

Aktualny stan wiedzy pozwala stwierdzić, iż bezpośrednie oddziaływanie wysokiej temperatury nie jest głównym czynnikiem zagrażającym życiu ludzkiemu podczas pożaru. Większość wypadków w takich zdarzeniach spowodowane jest zatruciem toksycznym dymem. W celu zmniejszenia liczby ofiar pożarów można zastosować kurtyny powietrzne, które pozwalają na wydzielenie przestrzeni objętej zadymieniem. Kurtyny mają za zadanie kontrolować rozprzestrzenianie się dymu i toksycznych gazów, a w konsekwencji zapewniać dostęp do obiektu dla ekip ratowniczo-gaśniczych oraz do wyjść ewakuacyjnych dla ludzi znajdujących się w obiekcie [4]



Ryc. 1. Schemat zastosowania kurtyn powietrznych w tunelu do celów bezpieczeństwa pożarowego
Fig. 1. Diagram of applying air curtains in a tunnel for fire safety reasons
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Idea zastosowania kurtyn powietrznych powstała w 1904 roku. Pierwszy opatentował je w USA T. Van Kennet – jako metodę na powstrzymywanie przepływu powietrza dzięki sztucznie wytworzonemu strumieniowi powietrza nawiewanego. Pomysł ten doczekał się pierwszej realizacji ponad 10 lat później.

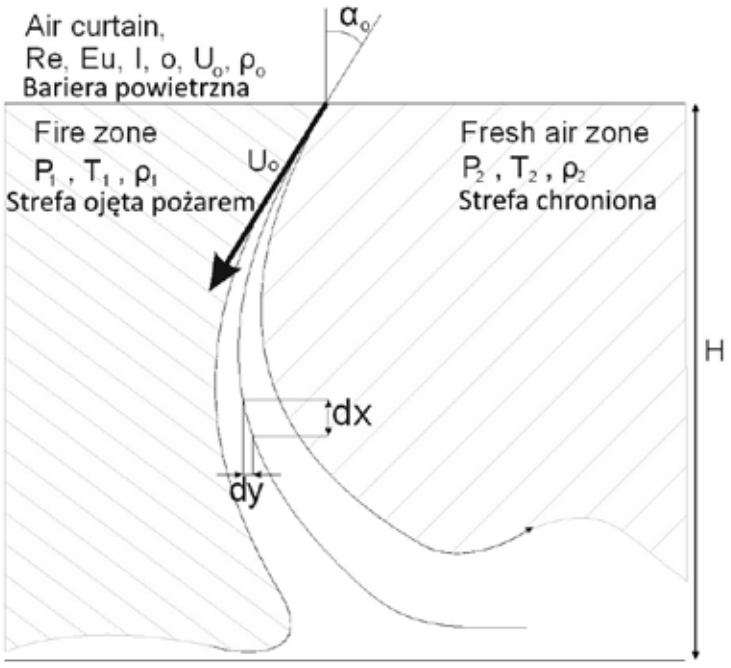
Pierwsza (pionowa) kurtyna powietrzna została zbudowana w 1916 roku przez Caldwella i służyła do wydzielenia hipodromu od przestrzeni zewnętrznej trzema kurtynami powietrznymi. Od tego czasu można zauważyć znaczny rozwój kurtyn powietrznych oraz zwiększający się obszar ich zastosowania [1].

Kurtyny powietrzne są instalowane przy wejściach do budynków użyteczności publicznej (takich jak domy towarowe, kina, biura, restauracje) oraz w bramach budynków przemysłowych (magazynów, hali produkcyjnych, hangarów). Zastosowanie kurtyn nie zakłóca przemieszczania się ludzi, pojazdów oraz transportu towarów.

Kurtyny powietrzne znalazły także bardzo szerokie zastosowanie w niektórych procesach technologicznych np. do odcięcia przestrzeni o znacznych zyskach ciepła oraz o znacznym wydzielaniu się substancji szkodliwych, takich jak opary chemiczne, zapachy, bakterie, kurz, insekty i cząsteczki radioaktywne [2-3].

Obecnie istnieje bardzo mało opracowań, które odnoszą się kurtyn wykorzystywanych do celów wydzielenia stref niezadymionych w czasie pożaru. Według wiedzy autorów jedyna kurtyna powietrzna, która znalazła zastosowanie w tunelu drogowym, znajduje się w Paryżu we Francji na łączeniu tras A13 i A86. Strumień kurtyny nachylony jest pod kątem 35°, zaś prędkość na wylocie wynosi 30 m/s. Szczelność kurtyny sięga niemal 100% przy różnicy ciśnienia do 80 Pa [5].

Prawidłowo zaprojektowana kurtyna powietrzna jest w stanie wytworzyć ciśnienie dynamiczne zapobiegające bądź znacznie ograniczające przepływ masy i ciepła pomiędzy dwoma płynami, które rozgranicza (ryc. 2). Zasadniczym kryterium skuteczności kurtyny powietrznej jest jej szczelność.



Ryc. 2. Schemat funkcjonowania kurtyny powietrznej w warunkach pożaru
Fig. 2. Diagram of the operation of an air curtain in fire conditions
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.22

Zgodnie z przedstawionym na ryc. 2 modelem wpływ na kształt bariery powietrznej poddanej oddziaływaniu różnicy ciśnienia i temperatury ma wiele zmiennych. Można do nich zaliczyć: różnicę ciśnienia, różnicę temperatury, kąt i prędkość nawiewanego powietrza oraz szerokość szczeliny, różnicę temperatury (ΔP, ΔT, H, e, α, U_0, I_0, υ, ρ,). Zależności między nimi można przedstawić w formie równania:

$$\frac{\Delta P}{\frac{1}{2}\rho U_0^2} = f\left[\frac{H}{e}, \frac{U_0 e}{\nu}, I_0, \alpha, \Delta T, C_{dymu}\right] \quad [1]$$

gdzie:

g – przyspieszenie grawitacyjne [m/s²],
ΔP – różnica ciśnienia [Pa],
ρ – gęstość powietrza {kg/m³],
e – szerokość szczeliny nawiewnej [m],
U_0 – prędkość powietrza na wylocie ze szczeliny [m/s],
α – kąt pod jakim nawiewana jest struga [°],
ν – lepkość kinematyczna [m²/s],
I_0 – intensywność turbulencji [%],
C_{dymu} – koncentracja dymu [g/m³].

W celu rozwiązania zagadnienia wykorzystano narzędzia do numerycznej mechaniki płynów (CFD) w postaci aplikacji ANSYS Fluent 14.5. Aplikacja ta pozwala na przeprowadzenie szczegółowej analizy rozkładu prędkości, temperatury oraz stężenia dymu w analizowanej przestrzeni.

Zaprojektowanie prawidłowo funkcjonującej kurtyny nie jest prostym zadaniem, gdyż na jej parametry ma wpływ wiele czynników w tym m.in.: szerokość szczeliny nawiewnej, wysokość tunelu, stosunek wysokości tunelu do szerokości szczeliny, prędkość nawiewanego powietrza, kąt nachylenia strumienia oraz parametry środowiska po obu stronach kurtyny, takie jak ciśnienie i temperatura. Obecnie stosowane instalacje kurtyn powietrznych są regulowane w oparciu o badania modelowe bądź też bardzo kosztowne badania w pełnej skali technicznej. Przeskalowanie badań do skali rzeczywistej również jest złożone i bardzo często prowadzi do przeszacowania parametrów kurtyny powietrznej. Dlatego też, w celu prowadzenia dokładnych analiz parametrów, coraz częściej stosuje się metodę numerycznej mechaniki płynów (CFD), która umożliwia ocenę efektywności kurtyny w skali rzeczywistej. W tym celu należy wcześniej przeprowadzić szereg badań weryfikujących, które zapewnią prawidłowy dobór warunków brzegowych do symulacji [6].

2. Weryfikacja przyjętego modelu numerycznego

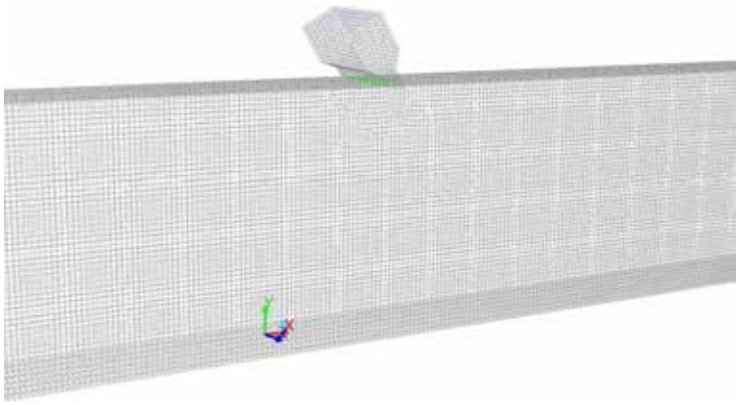
Przed przystąpieniem do analiz, w których uwzględniono oddziaływanie na kurtynę powietrzną wysokiej temperatury powstałej w wyniku pożaru oraz różnicy ciśnienia, wykonano badania mające na celu weryfikację prawidłowości przyjętych modeli matematycznych. Weryfikację przeprowadzono na podstawie eksperymentów w skali rzeczywistej, gdzie badano rozkład prędkości w osi płaskiej strugi. Badania przeprowadzono na stanowisku badawczym zlokalizowanym w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej (ryc. 3). Stanowisko składało się z tuneli o wymiarach 8,0 x 1,0 x 2,0 (długość x szerokość x wysokość) oraz skrzynki rozprężnej ze szczeliną o zmiennej szerokości. Badania przeprowadzono dla szerokości szczeliny wynoszącej 10,0; 15,0; 20,0 i 25,0 cm, co pozwalało na uzyskanie stosunku wysokości korytarza do szerokości szczeliny w zakresie 8 ÷ 20.

W celu wykonania analiz numerycznych zbudowano trójwymiarowy model (3D) domeny obliczeniowej o wymiarach identycznych jak stanowisko badacze. Przestrzeń domeny podzielono za pomocą siatki hexahedralnej o wymiarach od 0,2 cm do 20 cm. W miejscach, gdzie spodziewano się dużego gradientu prędkości, siatkę zagęszczono (ryc. 4).

Badania weryfikacyjne posłużyły do potwierdzenia prawidłowości przyjętych warunków brzegowych oraz dwurównaniowego modelu turbulencji realizable k-ε z grupy modeli RANS. Pomiary i analizy CFD przeprowadzono dla 3 wartości prędkości powietrza na wylocie ze szczeliny, wynoszących: 10, 20 i 30 m/s. Szerokość szczeliny wynosiła 0,02 m. Poza obszarem oddalonym o około 20÷40 cm od wylotu ze szczeliny wyniki pomiarów, jak i analiz były bardzo zbliżone do siebie.

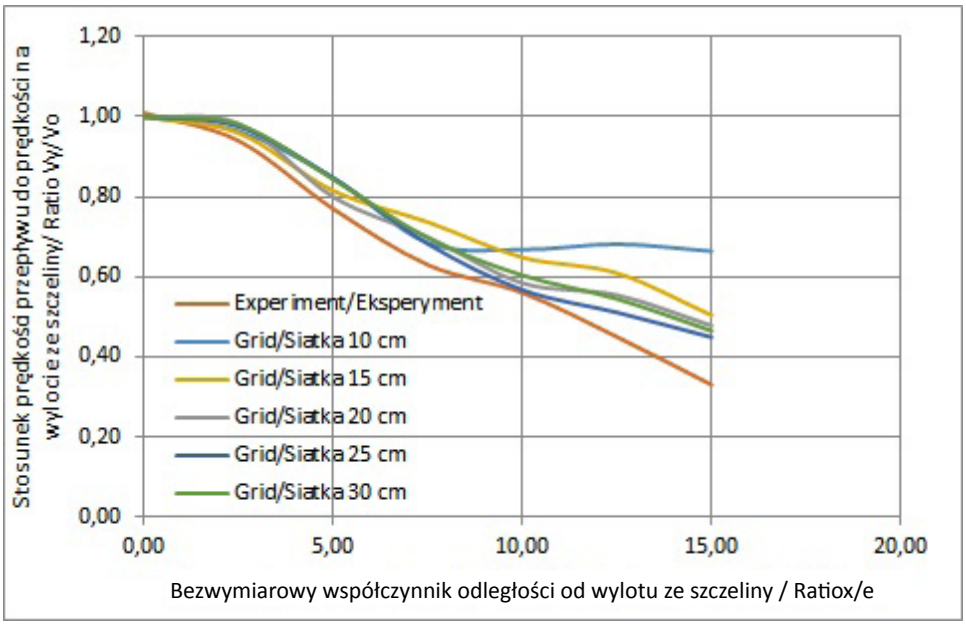
W pozostałej części strugi błąd pomiędzy pomiarami a wynikiem analiz CFD nie przekraczał 10÷15%, co można uznać za satysfakcjonującą dokładność (ryc. 5).

Ryc. 3. Wizualizacja stanowiska do badań rozkładu prędkości w osi strugi w skali rzeczywistej
Fig. 3. Visualization of test post used to measure velocity distribution in the axis of a stream in real scale
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

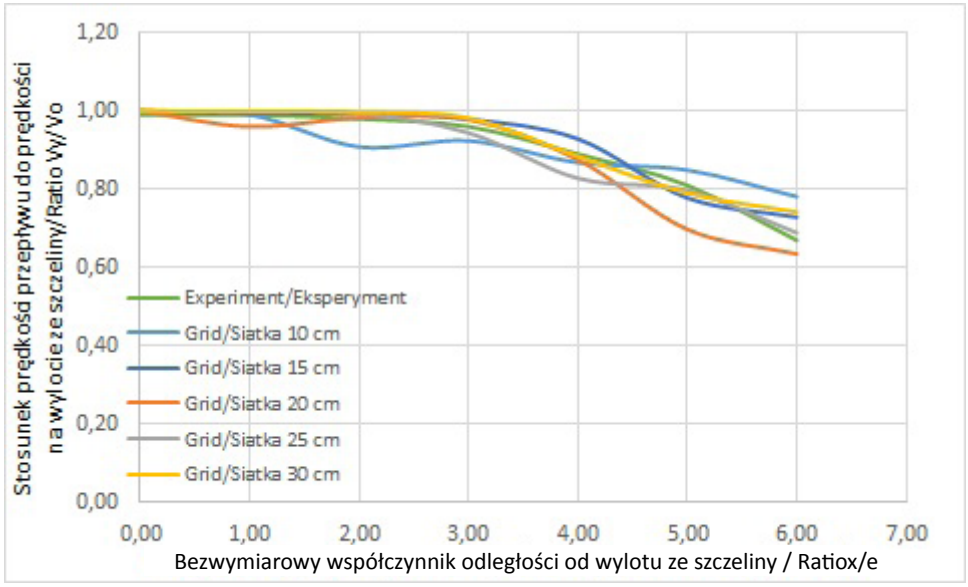


Ryc. 4. Siatka numeryczna w pobliżu szczeliny nawiewnej
Fig. 4. Numerical grid in the vicinity of an air inlet
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

a)



b)



Ryc. 5. Porównanie wyników rozkładu prędkości badań z analizami CFD w osi strugi o szerokości a) 0,1 m i b) 0,25 m
Fig. 5. Comparison of the results of velocity distribution of tests with CFD analysis in the axis of a stream with a width of a) 0,1 m and b) 0,25 m
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.22

3. Kurtyna powietrzna jako wydzielenie obszarów na wypadek pożaru

Po przeprowadzeniu analiz numerycznych, mających na celu dobór właściwego modelu turbulencji, przeprowadzono szereg analiz numerycznych płaskiej strugi ograniczonej, mającej służyć do wydzielenia obszarów niezadymionych na wypadek pożaru.

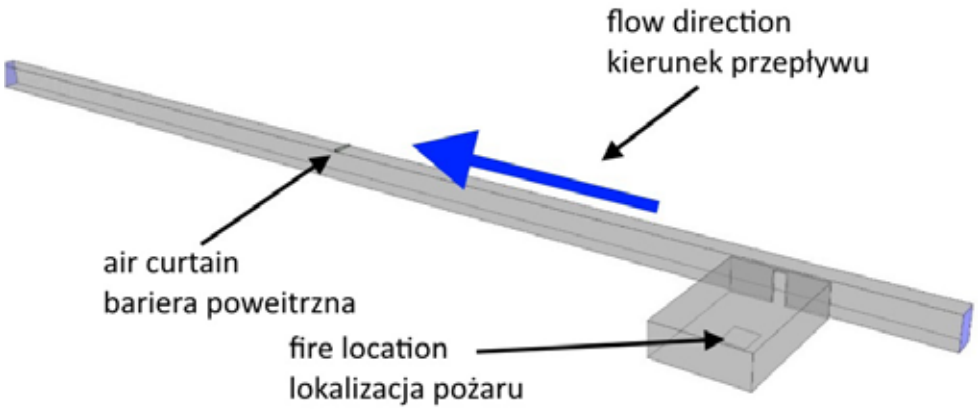
Kurtyna powietrzna, jako struga ograniczona wydzielająca obszary niezadymione od zadymionych w czasie pożaru, powinna charakteryzować się wysoką efektywnością tzn. szczelnością. O poziomie szczelności świadczy przetransportowana przez nią ilość ciepła i masy.

Wpływ na szczelność kurtyny powietrznej mają takie parametry, jak:

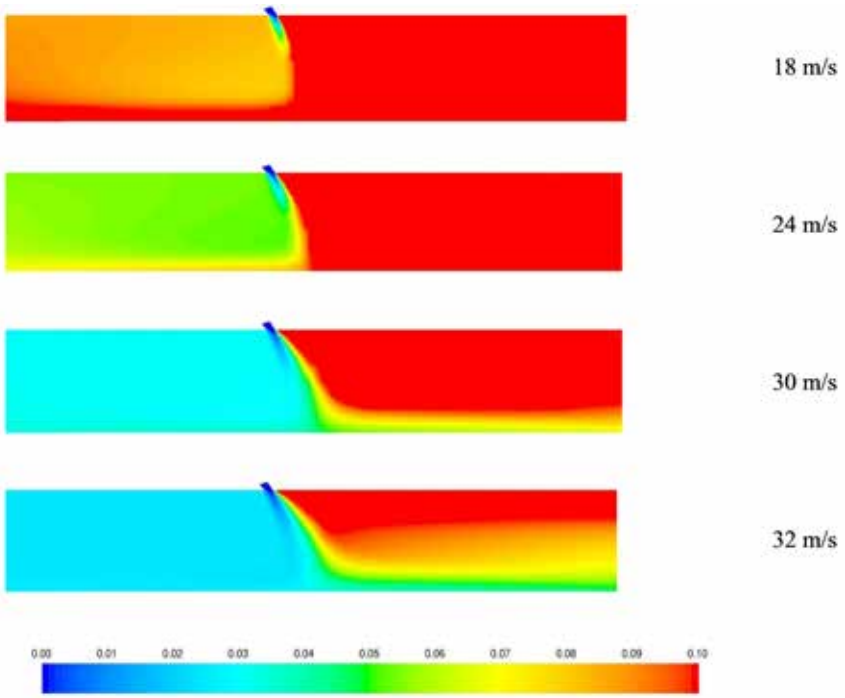
- szerokość szczeliny,
- prędkość nawiewanego powietrza,
- kąt nachylenia strugi.

Analizy numeryczne uwzględniające oddziaływanie gazów powstałych w wyniku pożaru w pomieszczeniu przyległym do przestrzeni korytarza (ryc. 6) przeprowadzono dla szczeliny o szerokości 0,15, 0,20 i 0,25 cm. Kąt nachylenia strugi wynosił 30 stopni w kierunku obszaru objętego pożarem. Analizy przeprowadzono dla różnych wariantów wysokości korytarza 2,2; 2,6 i 3,0 m i różnej prędkości poprzecznej w korytarzu 0,5; 1,0 i 1,5 m/s. Przyjęta w analizach moc pożaru wynosiła 2,5 MW.

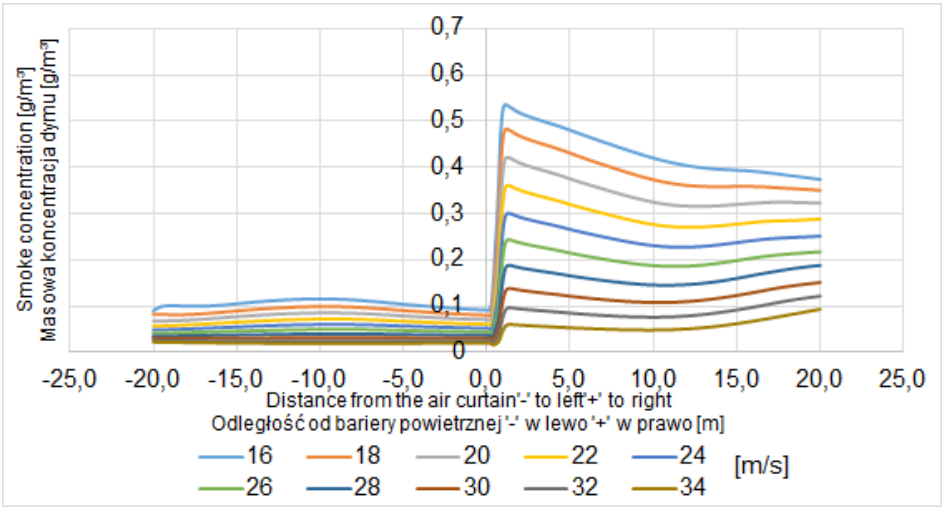
Szczegółowej analizie poddano takie parametry jak rozkład stężenia dymu i temperatury. Analizy prowadzono dla różnych prędkości nawiewanego powietrza przez nawiew szczelinowy przy zmiennej prędkości poprzecznej w korytarzu oraz różnej wysokości korytarza. Na ryc. 7 przedstawiono rozkład stężenia dymu w przekroju poprzecznym korytarza dla: prędkości poprzecznej w korytarzu 0,5 m/s, wysokości korytarza 2,2 m oraz szerokości szczeliny 0,15 m.



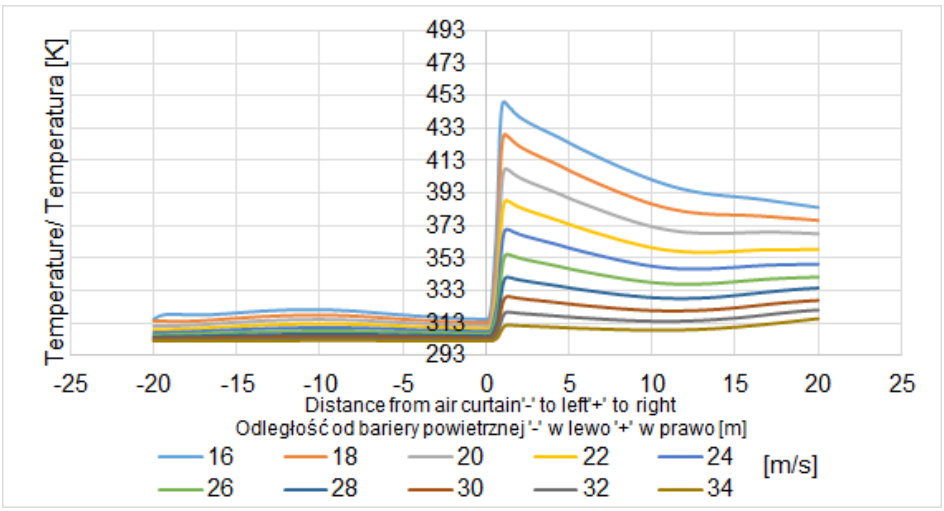
Ryc. 6. Model domeny obliczeniowej do analiz funkcjonowania kurtyny w warunkach pożaru
Fig. 6. The model of calculation domain for analyzing the operation of an air curtain in fire conditions
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 7. Rozkład stężenia dymu w przekroju poprzecznym korytarza
Fig. 7. Distribution of smoke concentration in the cross-section of the corridor
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

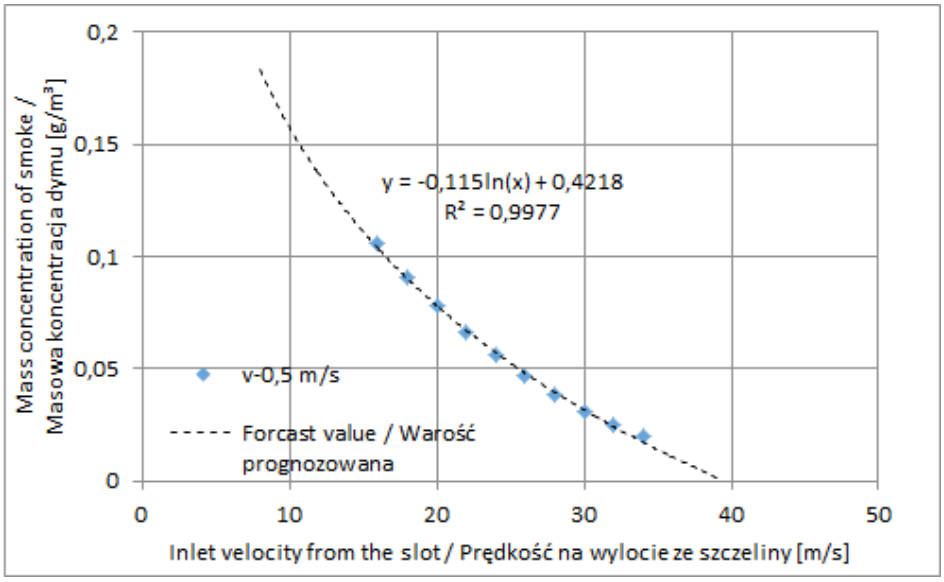


a)



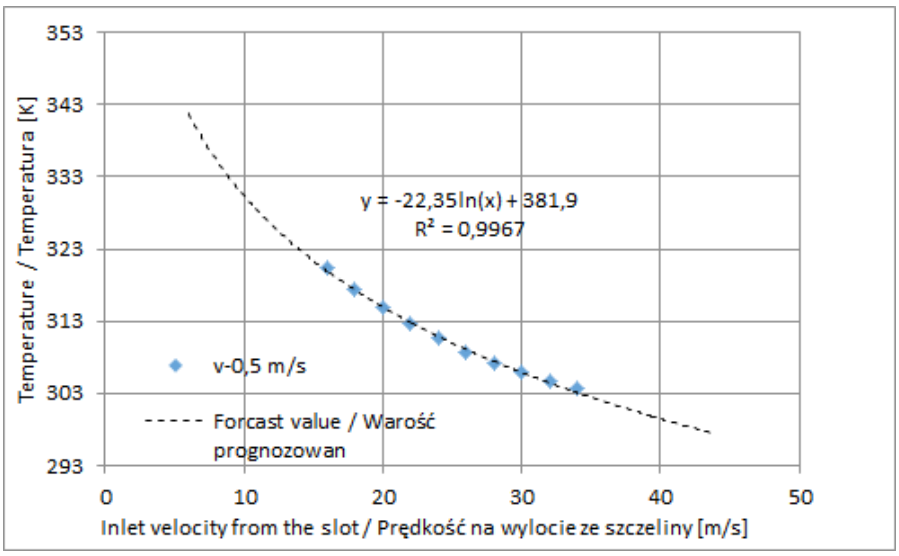
b)

Ryc. 8. Stężenie dymu oraz rozkład temperatury w osi korytarza
Fig. 8. Smoke concentration and temperature distribution in the corridor axis
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



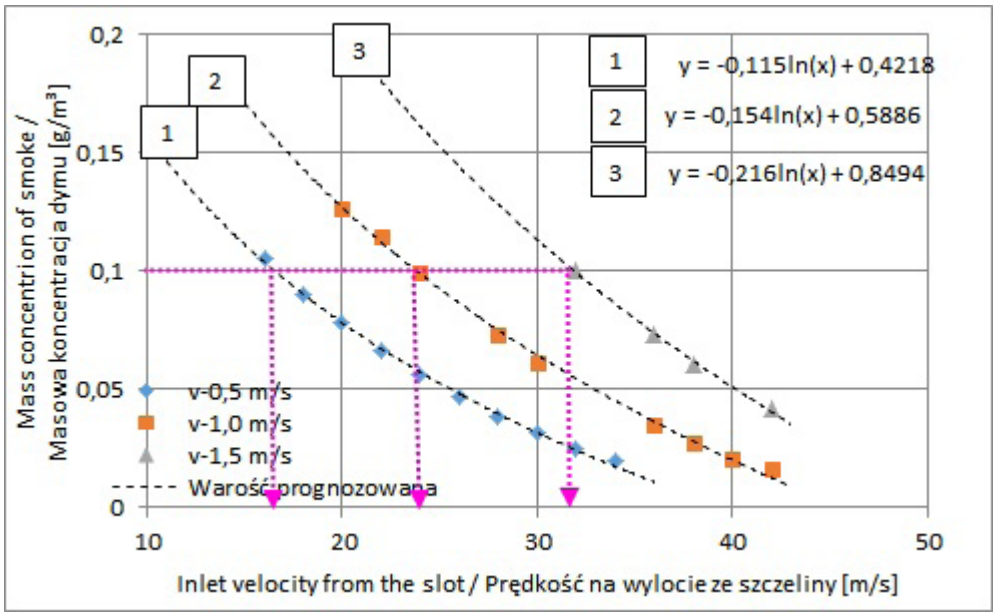
a)

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.22



b)

Ryc. 9. Krzywe przedstawiające zależność stężenia dymu i temperatury od prędkości nawiewanego powietrza
Fig. 9. Curves presenting the dependence of smoke concentration and temperature on air velocities
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 10. Przykład doboru prędkości powietrza nawiewanego przez szczelinę w zależności od szerokości szczeliny
Fig. 10. An example of selecting the velocity of air blown through the inlet slot, depending on the width of the slot
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Szczegółowe wyniki stężenia dymu i rozkładu temperatury przedstawiono w formie wykresu w osi korytarza dla różnych prędkości nawiewanego powietrza przez szczelinę zlokalizowaną w suficie korytarza (ryc. 8).

Otrzymane wyniki stężenia dymu oraz rozkładu temperatury pozwoliły na opracowanie wykresów opisujących ich zależność od prędkości nawiewanego powietrza przez szczelinę przy zadanej prędkości poprzecznej w korytarzu (ryc. 9).

Przedstawione wykresy pozwalają na dobór wymaganej prędkości nawiewanego powietrza przez szczelinę dla różnych wysokości oraz szerokości szczeliny nawiewnej i prędkości w przekroju korytarza (ryc. 10).

Na podstawie powyższego nomogramu w prosty sposób można dobrać prędkość nawiewu powietrza w odniesieniu do wymaganego stężenia dymu po stronie nieobjętej pożarem, które wynosi 0,1 g/m³. Prędkość nawiewanego powietrza dla szczeliny o szerokości 0,15 m i prędkości przepływu powietrza w korytarzu wynoszącej odpowiednio 0,5; 1,0 i 1,5 m/s będzie wynosiła odpowiednio 16,0; 24,0; 33,0 m/s. Na podstawie przeprowadzonych prac badawczych możliwy jest dobór parametrów kurtyny powietrznej w zależności od trzech zmiennych: wysokości korytarza, szerokości szczeliny oraz prędkości porzecznej w przestrzeni korytarza.

4. Podsumowanie

Na podstawie przeprowadzonych badań i analiz numerycznych, wykorzystujących metodę numerycznej mechaniki płynów (CFD), potwierdzono fakt, iż bariera powietrzna

może pełnić funkcję przegrody dla dymu i ciepła w warunkach pożaru. Dobór parametrów bariery powietrznej jest zależny od wysokości przestrzeni, w której będzie ona zainstalowana oraz od prędkości poprzecznej powietrza w przestrzeni tunelu bądź korytarza. Parametry płaskiej strugi ograniczonej mogą być dobierane zamiennie z uwzględnieniem szerokości szczeliny bądź prędkości nawiewanego powietrza. Ponadto należy mieć na uwadze, iż niedoszacowanie prędkości nawiewanego powietrza dla danej szerokości szczeliny powoduje przełamanie bariery powietrznej i ograniczenie jej skuteczności.

Literatura

[1] Goyonnaud L., Solliec C., *Mass transfer analysis of an air curtain system*, "Transactions on Engineering Science" 1998, Vol. 18.
[2] Gugliermetti F., Santrapia L., Zori G., *Air curtain applied to fire smoke pollution control*, "Transactions on Ecology and the Environment" 2003, Vol. 66.
[3] Guyonnaund L., Solliec C., Dufresene de Virel M., Rey C., *Design of air curtains used for area confinement in tunnels*, "Experiments in Fluids" 2000, 28, 377-384.
[4] Sztarbala G., Krajewski G., *Application of CAE in designing process of fire ventilation system based on jet fan system*, EBECC, London 2009.
[5] Gupta S., Pavageau M., Elicer-Cortes J.C., *Cellular confinement of tunnel sections between two air curtains*, "Building and Environment" 2007, 42, 3352-3365.
[6] Krajewski G., Węgrzyński W., *Air curtain as a barrier for smoke in case of fire: Numerical modelling*, "Bulletin of the Polish Academy of Sciences Technical Sciences" 63(1), 145-153
[7] Hayes F.C., Stoecker W.F., *Heat Transfer Characteristics of the Air Curtain*, "ASHRAE Transactions" 1969, No. 2120.
[8] Hayes F.C., Stoecker W.F., *Desig Data For Air Curtains*, "ASHRAE Transactions" No. 2121, 196
[9] Rajaratnam N., *Turbulent jets*, Elsevier, Amsterdam 1976
[10] Schlichting H., *Boundary layer theory*, Mc Graw-Hill Book, New York 1968.
[11] Abramovitch G.N., *The theory of turbulent jets*, M.I.T. press, Massachusetts 1963.
[12] ANSYS Fluent 14.5. Technical Documentation.

* * *

mgr inż. Grzegorz Krajewski – pracownik Zakładu Badań Ogniowych Instytutu Techniki budowlanej od 2007 r. Ukończył wydział Inżynierii Środowiska na Politechnice Warszawskiej. Specjalizuje się w zakresie analiz numerycznych z wykorzystaniem metody numerycznej mechaniki płynów (CFD) w szczególności w obszarze rozprzestrzeniania się dymu i ciepła oraz oddziaływania warunków środowiska zewnętrznego na obiekty budowlane (przepływy wewnętrzne, aerodynamika obiektów budowlanych). Współautor opracowań z projektów badawczo-rozwojowych oraz szeregu artykułów i publikacji naukowo technicznych na konferencjach krajowych i zagranicznych o tematyce związanej z bezpieczeństwem pożarowym, inżynierią wiatrową oraz analizami numerycznymi.

mgr inż. Wojciech Węgrzyński – absolwent Wydziału Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, doktorant w Instytucie Techniki Budowlanej. Od 2010 roku zatrudniony w Zakładzie Badań Ogniowych Instytutu Techniki Budowlanej, obecnie pełni funkcję Kierownika Pracowni Kontroli Dymu, Sygnalizacji i Automatyki Pożarowej. Obszarem zainteresowań naukowych autora są zjawiska związane z przepływem dymu i wentylacją pożarową, rozwojem pożaru oraz narzędzia inżynierskie wykorzystywane w ich analizie.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 253–264

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.23

prof. dr hab. inż. **Stanisław Nawrat**[1]
dr inż. **Natalia Schmidt-Polończyk**[1]
mgr inż. **Sebastian Napieraj**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 29.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 22.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Ocena bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego z wentylacją wzdłużną w warunkach pożaru przy wykorzystaniu narzędzi modelowania numerycznego[2]

Safety Assessment of Road Tunnels with Longitudinal Ventilation, During a Fire Incident, Utilizing Numerical modelling Tools

Оценка безопасности пользователей автомобильного тоннеля с продольной вентиляцией в условиях пожара с использованием инструментов численного моделирования

ABSTRAKT

Cel: Przedstawienie procesu oceny bezpieczeństwa użytkowników podczas pożaru w tunelu drogowym, wentylowanym wzdłużnym systemem wentylacji, z wykorzystaniem narzędzi modelowania numerycznego.
Wprowadzenie: W przypadku pożaru w tunelu drogowym najważniejsze są działania samoratownicze podejmowane przez użytkowników korzystających z tego obiektu. Ich skuteczność zależy od szeregu parametrów, w tym od geometrii tunelu, systemów bezpieczeństwa (np. wentylacji), rodzaju spalanego materiału, strumienia wyzwalanego ciepła HRR (ang. *heat release rate*) podczas pożaru, czy rozmieszczenia wyjść ewakuacyjnych.
Narzędzia modelowania numerycznego są coraz częściej wykorzystywane m.in. do oceny skuteczności systemów bezpieczeństwa oraz bezpieczeństwa użytkowników w trakcie ewakuacji, co z kolei sprawdzane jest zazwyczaj na etapie projektowym danego obiektu. Osoba przeprowadzająca badania numeryczne musi posiadać wiedzę z zakresu wielu dziedzin, znać: podstawy modelowania matematycznego, wykorzystywane narzędzia oraz ich ograniczenia, zagadnienia związane z metodą obliczeniowej mechaniki płynów (CFD), specyfikę pożaru oraz potrafić poprawnie dobierać parametry początkowo-brzegowe.
Metodologia: W artykule przedstawiono wyniki studium literatury specjalistycznej, w tym wybrane krajowe i międzynarodowe wytyczne projektowe, stanowiące wypadkową dyskusji naukowo-technicznych, badań numerycznych, laboratoryjnych oraz testów w skali rzeczywistej. Ponadto w pracy zaprezentowano wyniki badań własnych autorów artykułu realizowanych w ramach bieżącej działalności Wydziału Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej.
Wnioski: Komputerowe metody numeryczne wykorzystano do kompleksowej oceny bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego z wentylacją wzdłużną w warunkach pożaru. Oceny tej dokonano przy zastosowaniu kryterium bezpiecznej ewakuacji, której wyznaczenie wymaga określenia czasu pojawienia się w tunelu krytycznych warunków środowiskowych zagrażających zdrowiu lub życiu osób podejmujących działania samoratownicze oraz czasu wyewakuowania się wszystkich użytkowników tunelu w bezpieczne miejsce. W pracy przedstawiono przebieg oceny, istotne założenia i parametry początkowo-brzegowe ze wskazaniem na źródła literatury fachowej oraz wyniki analiz własnych, na podstawie których należy stwierdzić, że w tunelach jednokierunkowych, o długości 1500 m z systemem wentylacji wzdłużnej nie zostanie zapewniony wymagany poziom bezpieczeństwa w warunkach pożaru o mocy 30 MW, w przypadku braku wyjść ewakuacyjnych oraz rozmieszczenia ich co 500 m.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, tunel drogowy, wentylacja pożarowa, wentylacja wzdłużna, ewakuacja
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: To identify an evaluation process concerning the safety of road tunnel users during a fire incident. The study focussed on tunnels with longitudinal ventilation systems and examined safety from an evacuation perspective, utilizing numerical modelling tools.
Introduction: During a fire outbreak in road tunnels, the behaviour of users is critical, specifically during their individual attempts at rescue

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza / AGH University of Science and Technology; nawstan@agh.edu.pl;
[2] Procentowy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / Percentage contribution: S. Nawrat – 30%, N. Schmidt-Polończyk – 50%, S. Napieraj – 20%;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.23

and evacuation. The outcome from such endeavours is dependent on a range of factors, including: tunnel geometry, safety systems in existence, ventilation, makeup of combustible material, heat release rate during burning and location of emergency exits. The use of numerical modelling tools is becoming an accepted norm, which, among others, is used to evaluate the effectiveness of safety systems as well as the safety of users during an evacuation. The latter is usually tested at the facility project design stage. Conduct of such activities require an individual to have detailed knowledge of a range of disciplines, thorough knowledge of mathematical modelling and application tools, awareness of software limitations, issues associated with computational fluid dynamics, specific knowledge concerning the behaviour of fires and appropriate selection of boundary conditions.

Methodology: This article reveals outcomes from a literary review of specialist material, including selected national and international project design guidelines derived from science and technology discussions, and numeric research performed in laboratory as well as real life conditions. Additionally, the paper presents original research results produced by the authors in the course of their ongoing activities at the Faculty of Mining and Geoengineering, at the AGH University of Science and Technology.

Conclusions: Computer numerical methods were harnessed to perform an assessment of safety in a fire environment, for users of road tunnels with longitudinal ventilated systems. This assessment was performed by applying a safe evacuation criterion, which requires identification of the start time when the critical environmental conditions occur in the tunnel, that is conditions presenting a hazard to the life and health of people who undertake self rescue activities, and duration of users evacuation to a safe location. The study identified essential assumptions, boundary parameters, specialist bibliography and analysis results from the work performed by the authors. Outcome from research indicates that in one-way road tunnels, of 1500 metres in length, without emergency exits or with exits spaced 500 metres apart, and ventilated by longitudinal systems, the required safety level will not be achieved during a fire incident with a heat release rate of 30 MW.

Keywords: fire safety, road tunnel, fire ventilation, longitudinal ventilation, evacuation
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Представление процесса оценки безопасности пользователей автомобильного туннеля, вентилируемого системой продольной вентиляции, в случае появления пожара. В оценке использовались критерий эвакуации и численные методы моделирования.

Введение: В случае возникновения пожара в автомобильном туннеле к наиболее важны действия по самоспасению проводимые его пользователями. Они зависят от целого ряда параметров, среди всего прочего, геометрии туннеля, систем безопасности (например вентиляция), вида сгораемого материала, теплового потока HRR во время пожара (анг. Heat Release Rate), размещения аварийных выходов. Использование численных инструментов моделирования становится все более частой практикой, которая служит, в частности, для оценки эффективности систем безопасности, а также оценки безопасности пользователей объекта во время эвакуации, которая проводится обычно на стадии проектирования данного объекта. Эти мероприятия требуют от персонала, производящего численные исследования, знаний в области многих дисциплин, базового знания математических моделей, используемых инструментов и их ограничений, вопросов, связанных с методом вычислительной гидродинамики (CFD), специфики пожара и правильного выбора начальных и краевых параметров.

Методология: В статье представлены результаты обзора специализированной литературы, в том числе отдельных национальных и международных директив по проектированию, которые являются результатом научно-технической дискуссии, численных и лабораторных исследований, а также экспериментов в реальном масштабе. Кроме того, в статье представлены результаты собственных исследований авторов, реализуемых в рамках текущей деятельности факультета горного дела и геоинженерии Академии горного дела и металлургии (AGH).

Выводы: Компьютерные численные методы были использованы для полной оценки безопасности пользователей автомобильного туннеля с продольной вентиляцией в условиях пожара. Оценка проведена с использованием критерия безопасной эвакуации, определение которого требует определения времени появления в туннеле критических условий окружающей среды, угрожающих здоровью или жизни людей, принимающих самоспасательные действия, а также времени эвакуации из туннеля всех пользователей в безопасное место. В статье представлен процесс оценки, существенные предположения и первоначальные и краевые параметры с указанием источника литературы, а также результаты собственного анализа. На основе этих результатов следует указать, что в туннелях с односторонним движением длиной 1500 м, в которых присутствует система продольной вентиляции, не обеспечен надлежащий уровень безопасности в случае пожара мощностью 30 МВт, если в этом туннеле нет аварийных выходов, расположенных каждые 500 м.

Ключевые слова: пожарная безопасность, автомобильный туннель, пожарная вентиляция, продольная вентиляция, эвакуация
Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Podczas eksploatacji tuneli drogowych użytkownik narażony jest na wiele zagrożeń niekorzystnie wpływających na jego zdrowie [1]. Najbardziej niebezpiecznym zdarzeniem w tunelach drogowych, w odniesieniu do zdrowia i życia ludzkiego, jest niewątpliwie pożar. Fakt ten potwierdza szereg dramatycznych w skutkach pożarów, mających miejsce właśnie w tych obiektach, np. w tunelu pod Mont Blanc, gdzie w 1999 roku zginęło 39 osób [2]. Warto zwrócić uwagę, że ze względu na specyfikę geometryczną tuneli drogowych występujące w nich pożary znacząco zmieniają swoją skalę w porównaniu do otwartej przestrzeni drogowej.

Pożar jest niekontrolowanym w czasie i przestrzeni procesem spalania materiałów [3]. Pożar w tunelu stanowi największe zagrożenie dla użytkowników tuneli drogowych oraz największe wyzwanie dla systemów bezpieczeństwa. Zdarzenia te nie występują bardzo często, jednak ich skutki, w przestrzeni częściowo zamkniętej, jaką jest tunel, mogą być znacznie poważniejsze w porównaniu z otwartymi ciągami komunikacyjnymi [4]. Pożary w tunelach drogowych w większości przypadków powodowane są przez techniczne usterki pojazdów (zwarcia elektryczne, przegrzania silników lub hamulców), a kolejno również przez zderzenia pojazdu/ów czy też wady techniczne wyposażenia tunelu [5]. Uwzględniając aspekt bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego, zdarzenie pożaru można podzielić na dwie fazy [6]:

- faza I, czyli okres nieprzekraczający pierwszych 15 minut liczonych od momentu powstania pożaru, gdzie priorytetem są działania samoratownicze. Osoby opuszczające tunel wymagają ochrony przed skutkami zadymienia (m.in. brakiem widzialności, trującymi gazami oraz wysoką temperaturą) poprzez zastosowanie odpowiedniego systemu wentylacji oraz środków technicznych,

- faza II, w której istotne są procesy zwalczania pożaru poprzez skuteczne odprowadzanie dymu z przestrzeni komunikacyjnej. Rolą systemów bezpieczeństwa na tym etapie jest umożliwienie pracy ekip ratowniczych poprzez stworzenie warunków dojścia do miejsca pożaru i do podjęcia czynności gaszenia pożaru.

Omawiając aspekt bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego w warunkach pożaru, prowadzone analizy należy odnieść do najważniejszych podejmowanych czynności, czyli ewakuacji. Proces ten jest zagadnieniem złożonym, a jednym z istotnych czynników wpływających na bezpieczeństwo osób jest czas realizacji ewakuacji.

W niniejszym artykule przedstawiono proces oceny bezpieczeństwa ewakuacji użytkowników tunelu drogowego z wentylacją wzdłużną w warunkach pożaru, przy wykorzystaniu narzędzi modelowania numerycznego.

2. Bezpieczeństwo użytkowników tunelu drogowego podczas pożaru

Do oceny bezpieczeństwa ewakuacji z tunelu drogowego wykorzystać można formułę określoną w brytyjskiej normie [7], zwaną również kryterium bezpiecznej ewakuacji, która pojęcie czasu ewakuacji definiuje zależnością:

$$T_{ASET} - T_{RSET} \geq 0 \quad (1)$$

gdzie:
T_{RSET} – wymagany czas ewakuacji (ang. Required Safe Escape Time) [s],
T_{ASET} – dostępny czas ewakuacji (ang. Available Safe Escape Time) [s].

Z punktu widzenia ustawodawstwa bezpieczna ewakuacja zależy od wartości kilku parametrów, których przekroczenie powoduje tzw. krytyczny stan środowiska mający miejsce wtedy, gdy [7], [8]:

- „temperatura powietrza przekracza wartość 60°C na wysokości mniejszej lub równej 1,8 m od poziomu drogi ewakuacyjnej,
- gęstość strumienia promieniowania cieplnego wynosi 2,5 kW/m^2, przez czas ekspozycji dłuższy niż 30 s,
- temperatura gorących gazów pożarowych przekracza wartość 200°C na wysokości ponad 2,5 m od poziomu drogi ewakuacyjnej,
- zasięg widzialności w tunelu jest mniejszy niż 10 m na wysokości mniejszej lub równej 1,8 m od poziomu drogi ewakuacyjnej,
- zawartość tlenu spada poniżej 15%".

Wyznaczenie dostępnego czasu ewakuacji T_{ASET} wymaga oszacowania czasu osiągnięcia krytycznego stanu środowiska, co wiąże się ze sprawdzeniem rozkładów wymienionych wyżej parametrów. Z kolei wymagany czas ewakuacji T_{RSET} jest czasem trwającym od początku powstania pożaru do momentu, w którym wszystkie osoby w tunelu drogowym zdołają się ewakuować w bezpieczne miejsce [8]. T_{RSET} określony został zależnością [8-9]:

$$T_{RSET} = t_{det} + t_a + t_r + t_{reak} + t_p \quad (2)$$

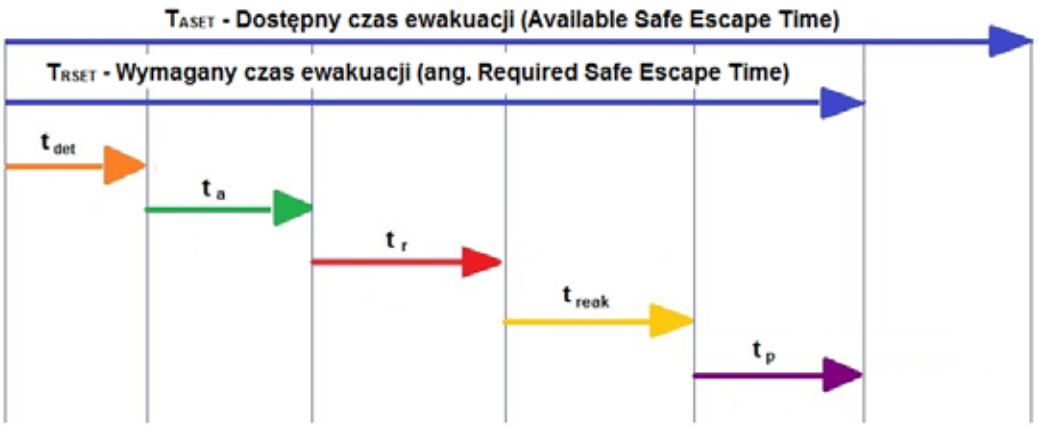
gdzie:
T_{RSET} – wymagany czas ewakuacji [s],
t_{det} – czas detekcji pożaru [s],
t_a – czas alarmu [s],
t_r – czas rozpoznania alarmu (przed podjęciem decyzji) [s],
t_{reak} – czas reakcji (podjęcie decyzji i wybór drogi ewakuacyjnej) [s],
t_p – czas przemieszczenia (przejścia drogą ewakuacyjną do bezpiecznego miejsca) [s].

Przedstawione składowe wymaganego czasu ewakuacji T_{RSET} oraz ich relacja względem dostępnego czasu ewakuacji T_{ASET} zobrazowane zostały na ryc. 1.

Niespełnienie kryterium oznacza, że w momencie pojawienia się krytycznych warunków środowiska w tunelu drogowym przebywa pewna liczba osób, które do tego momentu nie zdążyły przemieścić się w bezpieczne miejsce. Osoby te narażone są na utratę zdrowia lub życia.

3. Analiza numeryczna bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego w warunkach pożaru

Rozwój zaawansowanych metod obliczeniowych, wspieranych ciągłym postępem techniki komputerowej, przyczynia się do coraz częstszego wykorzystywania numerycznej mechaniki płynów (ang. *Computational Fluid Dynamics* – CFD) do celów analizy zagadnień inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Na rynku dostępnych jest wiele narzędzi wspomagających modelowanie przebiegu pożarów w tunelach. Programy te umożliwiają przeprowadzanie skomplikowanych symulacji pożarowych, przy uwzględnieniu wielu parametrów wpływających na poziom bezpieczeństwa ludzi. Narzędzia CFD podzielić można na oprogramowanie ogólnego przeznaczenia i oprogramowanie dedykowane dla inżynierii bezpieczeństwa pożarowego. Programy z pierwszej grupy to m.in. [10]: PHOENICS FLAIR, ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, STAR-CD,



Ryc. 1. Składowe czasu T_{RSET} oraz ich relacja względem T_{ASET} [9]
Fig. 1. Time elements TRSET and their relationship to T_{ASET} [9]

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.23

OPENFOAM. Do oprogramowania CFD dedykowanego dla inżynierii bezpieczeństwa pożarowego zaliczyć można [10]: FIRE DYNAMICS SIMULATOR (FDS), JASMINE, SMARTFIRE, KOBRA 3D, KAMELEON, SOFIE.

Proces działań samoratowniczych również coraz częściej prognozowany jest przy wykorzystaniu obliczeń numerycznych, które umożliwiają analizę różnych scenariuszy dla określonych założeń. Istnieje szereg narzędzi do przeprowadzania komputerowych symulacji ewakuacji, z których najczęściej wykorzystywanymi są [11]: EXODUS, FDS+EVAC, LEGION, PATHFINDER, SIMULEX, STEPS, VISSIM.

Ocenę bezpieczeństwa ewakuacji osób z tunelu drogowego przeprowadzono przy wykorzystaniu komputerowych metod numerycznych. Do wyznaczenia dostępnego czasu ewakuacji zastosowano narzędzie PyroSim, które jest interaktywnym graficznym interfejsem programu Fire Dynamics Simulator – FDS, co argumentowane jest kilkoma względami [12]:

- FDS jest dedykowany dla modelowania pożaru w obiektach budowlanych,
- wysoką wiarygodność uzyskanych wyników gwarantuje obszerna weryfikacja oraz walidacja wyników z testami przeprowadzonymi w skali rzeczywistej,
- w wielu przypadkach symulacje pożarów FDS potwierdzające projektowe wartości parametrów wentylacji wymagane są przez rzeczoznawców do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych oraz komendy wojewódzkie Państwowej Straży Pożarnej.

Wymagany czas ewakuacji określono z wykorzystaniem narzędzia Pathfinder, przy wyborze którego pomocne okazały się badania ankietowe przeprowadzone przez [11], na grupie 198 specjalistów posiadających doświadczenie w wykonywaniu symulacji ewakuacji. Głównym celem badań było sprawdzenie przydatności najczęściej wykorzystywanych na rynku symulatorów ewakuacji oraz rozpoznanie potrzeb w tej dziedzinie.

Wyniki sondażu wskazują, że jednym z trzech najlepiej ocenianych (lub najczęściej używanych) przez ankietowanych programów do modelowania ewakuacji jest Pathfinder. W pracy [13] dokonano również przeglądu wybranych narzędzi symulacyjnych przeznaczonych do modelowania procesów ewakuacji, w tym programu Pathfinder. Ponadto potwierdzeniem słuszności wyboru narzędzia Pathfinder jest rzetelnie przeprowadzony przez twórców programu proces weryfikacji zgodny z zaleceniami International Maritime Organization.

3.1. Charakterystyka programów obliczeniowych Fire Dynamics Simulator oraz Pathfinder

Fire Dynamics Simulator (FDS) to program przeznaczony do modelowania przebiegu pożarów. Został opracowany i jest wciąż rozwijany przez National Institute of Standards and Technology (NIST) przy współpracy z Technical Research Centre of Finland (VTT) [14]. FDS jest narzędziem przeznaczonym do szczegółowej analizy zagrożeń pożarowych, dynamiki pożaru oraz towarzyszących mu zjawisk fizycznych m.in. transportu ciepła i produktów spalania, wymiany ciepła poprzez promieniowanie i konwekcję. Z programem współpracuje pakiet Smokeview umożliwiający graficzną prezentację wyników. Symulator pozwala na rejestrację wartości parametrów w czasie determinujących bezpieczną ewakuację w obszarze, w którym przebywają ludzie. Wyznaczenie rozkładu danego parametru w badanych przekrojach umożliwia ustalenie czasu, po którym wystąpi krytyczny stan środowiska. Proces obliczeniowy może być realizowany zarówno metodą DNS (ang. Direct Numerical Simulation – DNS), gdzie równania Naviera-Stokesa rozwiązywane są bez uwzględnienia modelu turbulencji lub metodą LES (ang. Large Eddy Simulation – LES). DNS wymaga ogromnych nakładów obliczeniowych, co wynika z konieczności zastosowania bardzo gęstej siatki obliczeniowej oraz małego kroku czasowego. Metoda ta jest odpowiednia do symulacji przepływów ze spalaniem w małej skali geometrycznej [15]. Z kolei Large Eddy Simulation stanowi kompromis pomiędzy dokładnością wyników obliczeń a wymaganymi mocami obliczeniowymi komputera. Metoda LES polega na odseparowaniu mniejszych wirów, które są modelowane analitycznie. Duże wiry o wielkości porównywalnej lub większej od wielkości komórki obliczeniowej rozwiązywane są numerycznie. Podejście to pozwala na całościową analizę przepływów turbulentnych, przy zachowaniu ich charakteru [16].

Opis pożaru w FDS opiera się na fizycznych modelach zjawisk, m.in. na:

- modelu hydrodynamicznym,
- modelu spalania,
- modelu promieniowania cieplnego.

Model hydrodynamiczny rozwiązuje numerycznie odpowiednią formę równań Naviera-Stokesa. Równania te opierają się na: zasadzie zachowania masy, pędu, energii oraz na równaniu stanu gazu doskonałego [14].

Model spalania oparty na modelu mieszania paliwa z tlenem charakteryzuje się stałym współczynnikiem produkcji poszczególnych składników: dwutlenku węgla, tlenku węgla, sadzy i właściwie przybliża proces spalania dla dobrze wentylowanych pomieszczeń [14].

W modelu promieniowania cieplnego ośrodek w środowisku symulacji jest traktowany jako „gaz szary". Oznacza to, że proporcje emisji do absorpcji promieniowania przez cząsteczki ośrodka, niezależne od długości fali promieniowania są takie same.

Szczegółowa charakterystyka programu FDS oraz opis algorytmu obliczeniowego znajduje się w podręczniku technicznym FDS [14].

Proces weryfikacji i walidacji modelu FDS ma istotne znaczenie zarówno w przypadku możliwości jego zastosowania, jak i jego ograniczeń. Ponadto informacja o trafności zastosowanych równań w modelu matematycznym stanowi podstawę do wyboru programu komputerowego w celu przeprowadzenia konkretnych badań [17]. Obszerne badania weryfikacji i walidacji programu FDS zostały przeprowadzone przez NIST. Zgodność wyników symulacji FDS z rzeczywistością jest potwierdzona przez następujące dokumenty:

- dokument weryfikacji NIST [18],
- dokument walidacji NIST [19].

Badania walidacji i weryfikacji modelu, których charakterystykę i wyniki przedstawiono w dwóch pierwszych dokumentach wymienionych powyżej, sporządzono w oparciu o [17]. Weryfikacja modelu polegała na sprawdzeniu poprawności działania m.in. [18]: kodu programu, wrażliwości metody LES, poprawności rozwiązywania równań Naviera-Stokesa, modelu hydrodynamicznego, modelu promieniowania cieplnego, modelu przenikania ciepła przez przegrody, modelu spalania. W efekcie badania te wykazały, że uzyskane rezultaty symulacji FDS dla warunków pożaru mogą odbiegać od wartości rzeczywistych dla [19]:

- wartości przyrostów temperatury w warstwie dymu, które są mniejsze o wielkość nie większą niż 15% od danych rzeczywistych,
- wartości przyrostów temperatury w warstwie podsufitowej, które są mniejsze o wielkość nieprzekraczającą 20% od danych rzeczywistych,
- spadków widoczności, które w rzeczywistości są mniejsze o 30% od tych określonych za pomocą programu FDS.

Przyjęcie wymienionych korekt podczas interpretacji wyników modelowania numerycznego gwarantuje wiarygod-

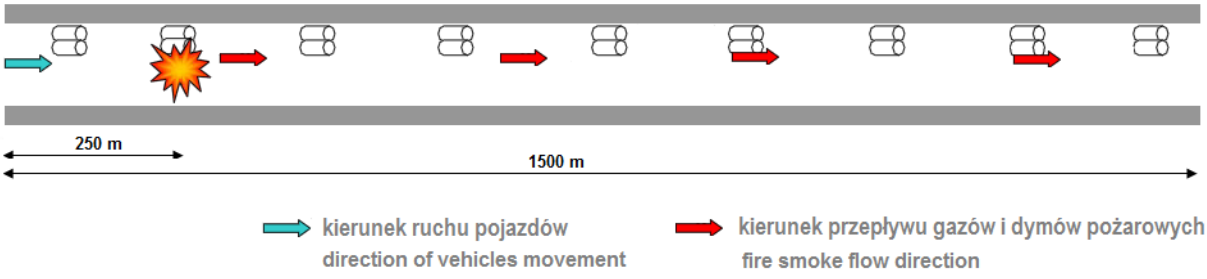
ność uzyskanych rezultatów [19].

Program Pathfinder, opracowany przez firmę Thunderhead Engineering, daje możliwości prowadzenia symulacji komputerowych w celu wyznaczenia czasów ewakuacji, uwzględnia przy tym geometrię budynków, zmieniając ich powierzchnię za pomocą algorytmu triangulacji na sieć nawigacyjną w postaci nieregularnych trójkątów. Domyślnie program tworzy najmniejszą liczbę możliwie największych trójkątów. W prezentowanej metodzie uwzględnia się wyposażenie obiektu reprezentowane przez wycięcia w sieci nawigacyjnej modelu geometrycznego. Luki stanowią przeszkody dla poruszających się osób, stając się niedostępne dla pieszych i w konsekwencji muszą być przez nich omijane [20]. W programie odpowiednikiem użytkowników danego obiektu są „agenci", którym zostają nadane indywidualne cechy (m.in. wiek, płeć, szerokość ramion, sprawność fizyczna itp.). Zachowania osób w modelu określane są poprzez funkcje: „profil" oraz „zachowanie". Profile pozwalają na zarządzanie rozkładem parametrów poruszania się osób oraz na definiowanie prędkości przemieszczania się i wymiarów pieszych. Zachowania determinują sekwencję akcji, m.in. postój, przejście we wskazane miejsce lub wyjście [21]. Rozmieszczenie osób w danym pomieszczeniu może odbywać się w sposób losowy lub uporządkowany, pozwalając na zachowanie wysokiej gęstości osób, ale zarówno w pierwszym, jak i drugim przypadku bez wzajemnego nakładania się pieszych [21]. Droga ewakuacji każdego użytkownika obiektu w programie Pathfinder tworzona jest w trzech etapach: etap I – planowanie drogi ewakuacji, etap II – generowanie drogi ewakuacji oraz etap III – przejście drogą ewakuacji. Podczas procesu planowania narzędzie wyszukuje („planuje") możliwe drogi ewakuacji, jednak finalnie wytycza „lokalnie najszybszą" spośród wszystkich dostępnych. Precyzując, pojęcie „lokalnie najszybciej" odnosi się konkretnie do wyboru najbliższego lokalnego celu w pomieszczeniu (np. drzwi do drugiego pokoju), gdzie aktualnie przebywa pieszy, który stanowi składową celu finalnego. Po przejściu do kolejnego lokum podejście jest powtarzane aż do osiągnięcia punktu przeznaczenia. Gdy lokalny cel został wytyczony, droga ewakuacji generowana jest na podstawie algorytmu poszukiwania [22] na trójkątnej sieci nawigacyjnej. Powstała ścieżka reprezentowana jest przez linie łączące punkty na krawędziach trójkątów w sieci [20]. Przejście wyznaczoną drogą ewakuacji, czyli ruch pieszych w programie Pathfinder może być symulowany w dwóch trybach: sterowniczym oraz SFPE, czyli według Society of Fire Protection Engineers [23], [24]. W trybie zgodnym z założeniami SFPE drzwi wpływają na przepływ ludzi, a piesi nie mogą omijać się wzajemnie, co prowadzi do zjawiska przenikania. W trybie sterowniczym drzwi nie wpływają na limit przepustowości użytkowników obiektu, ale osoby poruszające się wykorzystują tzw. odwrócony układ sterowania (ang. *inverse steering behaviors*) do utrzymywania odpowiedniej prędkości i dystansu względem siebie. Układ ten pozwala pieszym tak wybierać cząstkowe kierunki poruszania, aby ich indywidualny czas ewakuacji był jak najkrótszy. Tryb ten umożliwia symulację bardziej złożonych zachowań, uwzględniając interakcje pomiędzy osobami oraz ich odpowiedź na zmienne warunki otoczenia, co jest naturalne podczas ewakuacji. Szczegółowa charakterystyka programu Pathfinder oraz opis algorytmu obliczeniowego znajduje się w podręczniku Pathfinder [20].

Firma Thunderhead Engineering wielokrotnie przeprowadzała ocenę adekwatności programu Pathfinder w celu weryfikacji i walidacji modelu. Sposób wykonania analizy został dokładnie opisany w dokumencie wydanym przez International Maritime Organization [25]. We wspomnianym opracowaniu podano również wyniki, do których powinny być zbliżone rezultaty symulacji, by weryfikacja była pozytywna. Testy weryfikujące narzędzie Pathfinder miały na celu zbadanie poprawności działania poszczególnych funkcji i zachowań m.in. [25], [20]: weryfikację funkcji oprogramowania takich jak: utrzymanie zadanej prędkości podczas poruszania się użytkownika, utrzymanie zadanej prędkości podczas wchodzenia po schodach, utrzymanie zadanej prędkości podczas schodzenia ze schodów, natężenie przepływu przez drzwi, zadany czas reakcji (opóźnienia), zaokrąglanie drogi, zachowanie przypisanych (różnych) wartości prędkości poruszania się oraz weryfikację jakościową – walidację: np. ruch „pod prąd", czułość na dostępne drzwi, przypisane wyjścia, zator. Ponadto wyniki z symulacji poddano walidacji, porównując je do rezultatów badań doświadczalnych ewakuacji przeprowadzonych w skali rzeczywistej.

3.2. Scenariusz pożarowy oraz warunki początkowo-brzegowe przyjęte w modelowaniu numerycznym

Scenariusz pożarowy rozważanego przypadku zakłada wybuch pożaru 250 m od portalu wjazdowego w jednej z naw tunelu jednokierunkowego, o długości 1500 m – rycina numer 2, mimo że polskie zalecenia prawne [26] dopuszczają stosowanie wentylacji wzdłużnej: „gdy długość tunelu jest nie większa niż 1000 m". Przekrój poprzeczny tunelu ma kształt prostokątny, mieści dwa pasy ruchu, a jego wymiary wynoszą: 9,2 m szerokości i 6,8 m wysokości. W tunelu przewidziano system wentylacji mechanicznej wzdłużnej, który pracuje zgodnie z kierunkiem ruchu w tunelu drogowym. W przypadku wybuchu pożaru w tunelu jednokierunkowym, bez zatoru, część pojazdów poruszających się w kierunku przeciwnym do źródła pożaru będzie w stanie bezpiecznie opuścić obiekt. Pojazdy zatrzymane przed źródłem pożaru są chronione przez jednostronne odprowadzanie dymu w kierunku zgodnym z obowiązującym kierunkiem ruchu w tunelu. W przypadku zatoru w tunelach jednokierunkowych po obu stronach pożaru mogą znajdować się samochody, które nie będą w stanie opuścić obiektu. Sytuacja ta stwarza zagrożenie dla użytkowników znajdujących się w zadymionej części tunelu.



Ryc. 2. Lokalizacja pożaru
Fig. 2. Fire location
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.23

Dyrektywa 2004/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej wyklucza możliwość stosowania wzdłużnego nachylenia tunelu większego niż 5% [27]. Jedynie ze względów topograficznych istnieje możliwość odstępstwa od tych wymagań. W tunelach o długości przekraczającej 400 m i nachyleniu wzdłużnym większym lub równym 3% poza analizą ryzyka ustala się dodatkowe lub zwiększone środki bezpieczeństwa [6]. Ponadto w tunelach o znacznym nachyleniu wpływ na prędkość przepływu dymów pożarowych w czasie pożaru ma powstający efekt kominowy, spowodowany wzrostem temperatury w tunelu i spadkiem drogi. W zależności od nachylenia i kierunku przepływu powietrza wymuszonego przez wentylację efekt ten może wspomagać pracę wentylatorów strumieniowych podczas pożaru lub wpływać negatywnie, stwarzając dodatkowy opór do pokonania. Oddziaływanie nachylenia tunelu na efektywność systemów wentylacji było przedmiotem wielu badań m.in. [28], [29] czy też [30]. Efektem ich jest wypracowanie wartości prędkości krytycznej w zależności od nachylenia tunelu, która jest nieco większa niż w analogicznym, poziomym tunelu. Spadek tunelu determinuje również obostrzenia (zawarte w zaleceniach projektowych m.in. w [6] w postaci ograniczenia prędkości poruszających się pojazdów. Ponadto może nieznacznie spowolnić prędkość ewakuujących się osób z tunelu, jednak w tunelach o stopniu nachylenia do 4% wpływ ten jest bardzo niewielki [31]. W niniejszym artykule nie uwzględniono nachylenia tunelu.

W analizowanym przypadku założono pożar samochodu ciężarowego [6], co odpowiada wielkości szybkości wydzielania ciepła równej minimum 30 MW. W początkowym stadium pożaru gorąca warstwa dymów pożarowych kumuluje się tuż pod stropem i rozchodzi w obu kierunkach względem źródła pożaru. Pod warstwą dymów zasysane jest świeże powietrze, tworząc jego chłodny strumień płynący w kierunku przeciwnym do kierunku rozchodzenia się gorących dymów pożarowych. Rozdzielenie warstwy gorących dymów i świeżego powietrza nazywane jest stratyfikacją (ryc. 3), ma miejsce przy braku lub niewielkiej prędkości wzdłużnej powietrza oraz jest zjawiskiem przejściowym, bardzo pożądanym w początkowej fazie pożaru.

Kolejno prędkość przepływu powietrza powinna eliminować zjawisko cofania się dymów pożarowych (ang. *backlayering*). Zbyt duża prędkość może spowodować zwiększenie mocy pożaru, a tym samym większą ilość dymów i gazów pożarowych, z drugiej strony zbyt mała jej wartość nie pokona zjawiska cofania się dymu. Dlatego konieczne jest zapewnienie prędkości krytycznej w tunelu, którą obliczyć można za pomocą metody iteracyjnej poprzez równoczesne rozwiązanie wzorów [6], [32], [33]:

$$V_{kryt} = 0{,}606 k_g \left(\frac{gHQ}{\rho c_p A T_f} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

$$T_f = \frac{Q}{\rho c_p A V_{kryt}} + T_0 \quad (4)$$

gdzie:

V_{kryt} – prędkość krytyczna [m/s],
k_g – współczynnik nachylenia tunelu,
g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2],
H – wysokość tunelu [m],
Q – strumień wyzwalanego ciepła [kW],
p – gęstość powietrza [kg/m^3],
Cp – ciepło właściwe powietrza [kJ/(kg·K)],
A – powierzchnia przekroju tunelu [m^2],
T_f – średnia temperatura gazów pożarowych [K],
T_0 – temperatura otoczenia [K].

Dla analizowanego przypadku wymagana prędkość krytyczna powietrza wynosi 2,3 m/s [6], [32], [33].

Podczas pożaru w rozważanym tunelu 427 osób podejmie ewakuację. Liczba ta została założona dla stanu zatoru w tunelu. Ponadto przeanalizowano trzy warianty odległości wyjść ewakuacyjnych:

a) wariant 1 – brak wyjść,
b) wariant 2 – wyjścia rozmieszczone co 500 m względem siebie,
c) wariant 3 – wyjścia rozmieszczone co 250 m względem siebie.

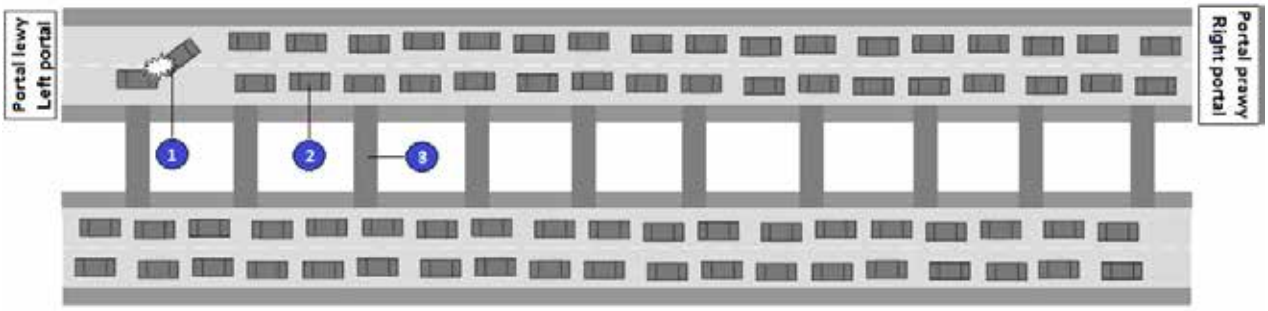
W przypadku trzeciego wariantu rozmieszczenia wyjść ewakuacyjnych, przyjęta lokalizacja pożaru spowoduje zablokowanie jednego z wyjść prowadzącego do drugiej nawy tunelu – ryc. 4.

Do celów analizy numerycznej w programie FDS przyjęto następujące warunki początkowe oraz brzegowe:

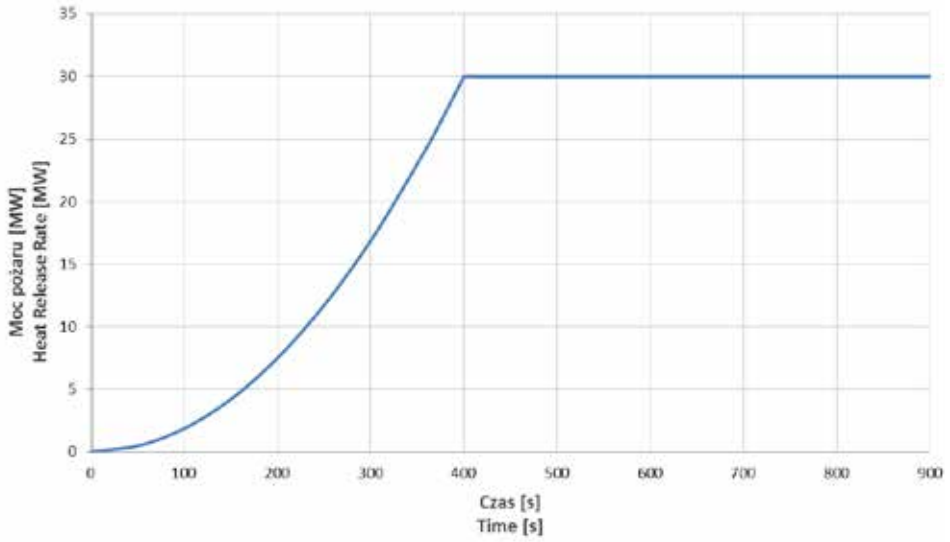
- temperatura powietrza: +20 [°C],
- wilgotność względna: 40 [%],
- ciśnienie atmosferyczne: 101 325 [Pa],
- przyspieszenie ziemskie: 9,81 [m/s^2],
- wiatr boczny: nie uwzględnia się,
- nachylenie tunelu: 0 [°].
- Za obudowę tunelu przyjęto ścianę betonową o grubości 0,8 m o właściwościach:
- gęstość: 2 228 [kg/m^3],
- przewodność cieplna: 1,80 [W/m·K],
- ciepło właściwe: 0,04 [kJ/kg·K],
- chropowatość: 0,03[mm].

Badania numeryczne przeprowadzono z wykorzystaniem metody Large Eddy Simulation. System wentylacji został zaprojektowany dla warunków pożaru zgodnie z procedurą obliczeniową zawartą w [33]. Strategia uruchomienia wentylatorów strumieniowych została dobrana w taki sposób, by w początkowej fazie pożaru zapewnić pożądany efekt stratyfikacji gazów i dymów pożarowych, co korzystnie wpłynie na bezpieczeństwo podczas ewakuacji. Wentylatory w trakcie pożaru pracują z mniejszą wydajnością, ze względu na obniżenie gęstości powietrza spowodowane przez gorący dym. Prędkość przepływu dymów pożarowych w tunelach drogowych z wentylacją wzdłużną regulowana jest poprzez załączanie i wyłączanie dostępnych wentylatorów. W celu osiągnięcia wymaganej krytycznej prędkości w tunelach drogowych załączana może być tylko określona liczba wentylatorów strumieniowych, zgodnie z opracowanymi wcześniej proce-

Ryc. 3. Zjawisko stratyfikacji
Fig. 3. Emergence of stratification
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 4. Lokalizacja pożaru przy wyjściu ewakuacyjnym
(1) lokalizacja pożaru, (2) pojazdy w tunelu, (3) wyjścia ewakuacyjne
Fig. 4. Fire location at an emergency exit
(1) fire location, (2) vehicles in the tunnel, (3) emergency exits
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 5. Przebieg przyjętej krzywej mocy pożaru dla 30MW
Fig. 5. The course of the assumed fire curve for the value HRR of 30MW
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

durami zarządzania bezpieczeństwem. Pozostałe urządzenia pozostają w spoczynku, z wyłączeniem sytuacji w drugiej fazie pożaru, w której kierujący akcją gaśniczą wyda inną dyspozycję. Założono, że wentylator w najbliższym sąsiedztwie pożaru, poddany działaniu gorących dymów i gazów został wyłączony z analizy ze względu na turbulencje, które może wywoływać. Założenie to jest szczególnie istotne dla zachowania pożądanego w początkowym stadium pożaru zjawiska stratyfikacji dymów. Może się również zdarzyć tak, że wentylator znajdujący się nad źródłem pożaru lub bardzo blisko zostanie uszkodzony, co przyjęte założenie również uwzględnia.

Przebieg i rozwój pożaru jest zjawiskiem bardzo trudnym do przewidzenia. Podejmując badania numeryczne, należy przyjąć pewne założenia. W literaturze fachowej oraz w zagranicznych wytycznych projektowych np. [6], [33] znajdziemy krzywe pożarowe charakteryzujące przebieg i wzrost pożaru, również w tunelu.

W niniejszym badaniu rozwój pożaru założono zgodnie z funkcją kwadratową:

$$Q = \gamma \cdot t^2 \quad (5)$$

gdzie:
Q – strumień wyzwalanego ciepła [kW],
γ – współczynnik szybkości rozwoju pożaru [kW/s^2] – tabela 1.
t – czas osiągnięcia pełnej mocy pożaru od momentu inicjacji [s] [34].

Przyjęta krzywa jest bardzo dobrym przybliżeniem fazy wzrostu pożaru w tunelach. Po osiągnięciu maksymalnej mocy pożaru krzywa zakłada utrzymanie tej mocy do końca trwania pożaru – ryc. 5, co stanowi margines bezpieczeństwa podczas analiz. Przyjęta krzywa rozwoju pożaru została zaproponowana na podstawie wyników testów pożarowych

Tabela 1. Współczynnik szybkości rozwoju pożaru [34-35].
Table 1. Fire growth factor [34-35].

Rozprzestrzenianie się pożaru / Fire propagation	**Współczynnik szybkości rozwoju pożaru [kW/s^2] / Fire growth factor [kW/s^2]**
Wolne/Slow	0,00293
Średnie/Medium	0,01172
Szybkie/Fast	0,04689
Bardzo szybkie / Very fast	0,18760

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.23

przeprowadzonych w skali rzeczywistej w ramach projektu UPTUN, m.in. w tunelu Runhamar w Norwegii.

Ilość dymów wydzielanych podczas pożaru pojazdu jest kluczowym parametrem wpływającym na zasięg widzialności w tunelu. Wielkość emisji dymów w głównej mierze zależy od spalanego materiału. Największym oddziaływaniem na produkcję dymów spośród elementów samochodu charakteryzują się: gumowe opony, gąbki w fotelach, tapicerka samochodowa, plastikowe lub drewniane elementy deski rozdzielczej, farby i lakiery. Ponadto na wielkość emisji dymów mają wpływ m.in.: rodzaj paliwa, warunki wentylacyjne oraz dostępność tlenu [36]. W modelowaniu procesu spalania samochodu przyjmuje się parametry wysoko dymotwórczych polimerów, stanowiących główny składnik materiałów zastosowanych w pojeździe, stąd do celów analizy przyjęto materiał o współczynniku produkcji dymu „soot yield" wynoszącym Y_{SOT} = 0,1 g/g, współczynniku produkcji tlenku węgla Y_{CO} = 0,1 g/g oraz cieple spalania Ho = 25 [MJ/kg] [37].

W rozważaniach pominięto oddziaływanie wiatru na proces oddymiania tunelu, chociaż wpływ warunków atmosferycznych, a w szczególności wiatru, może niekorzystnie oddziaływać na proces skutecznego odprowadzania dymu i ciepła, zwłaszcza w przypadku tuneli krótkich o długości nieprzekraczającej 500 m, wentylowanych naturalnie [38]. W pracy [39] wykazano negatywne oddziaływanie wiatru na proces przewietrzania krótkich tuneli z wentylacją naturalną. W tunelach długich można spodziewać się wpływu wiatru na zjawiska przepływowe zachodzące wewnątrz obiektu, dlatego systemy wentylacji w tunelach drogowych powinny zapewnić odpowiednią siłę ciągu w celu zniwelowania negatywnego oddziaływania. Niewielkiego wpływu wiatru według [31] na procesy wentylacyjne można spodziewać się w sytuacji, gdzie portale tunelu są ulokowane częściowo lub całkowicie pod powierzchnią otaczającego terenu.

Określenie wymaganego czasu ewakuacji wymagało przypisania każdej „ewakuującej się osobie" zestawu indywidualnych parametrów, z których najważniejszymi są: prędkość poruszania się, szerokość ramion oraz czas opóźnienia. Dobór indywidualnych parametrów osób ewakuujących się oparto o wyniki badań eksperymentalnych [40]. Szerokość ramion osób ewakuowanych, prędkość poruszania się i czas opóźnienia zdefiniowano, uwzględniając wartości minimalne i maksymalne, oraz zróżnicowano je ze względu na płeć i wiek – tabela 2 oraz tabela 3.

Kolejny etap obejmował wyznaczenie czasów będących składowymi T_{RSET}. Pierwszy z nich to czas detekcji pożaru, który określa przedział czasowy liczony od wybuchu pożaru do jego wykrycia przez systemy detekcji, operatora lub użytkownika tunelu. Następny dotyczy alarmu – jest to czas potrzebny do przetworzenia impulsu o zdarzeniu przez system sygnalizacji oraz finalnie do wyemitowania alarmu pożarowego. Za czas detekcji i alarmu T_{d+a} przyjęto łączną wartość 120 s, co jest zgodne z aktualnymi praktykami projektowymi. Kolejne składowe związane są z reakcją i zachowaniem osób ewakuujących się. Są to czasy opóźnienia i rozpoznania alarmu, czyli okres pomiędzy zadziałaniem alarmu a rozpoczęciem procesu ewakuacji, który wyrażany jest zależnością [40]:

$$t_0 = t_r + t_{reak} \tag{6}$$

gdzie:
t_0 – czas opóźnienia [s],
t_r – czas rozpoznania alarmu [s],
t_{reak} – czas reakcji [s].

Czas opóźnienia zależy w dużej mierze od znajomości budynku przez osoby ewakuujące się. Tunel w swojej konstrukcji i geometrii nie należy do skomplikowanych obiektów budowlanych, jednak jest to obiekt nieznany dla jego użytkowników, dlatego za czas opóźnienia do obliczeń przyjęto przedział od 0 do 120 s [40]. Kolejny czas dotyczy przemieszczania się osób w bezpieczne miejsce i został on wyznaczony za pomocą narzędzia Pathfinder na podstawie przyjętych parametrów początkowo-brzegowych.

W scenariuszu ewakuacji opracowano kilka typów zachowań użytkowników. Różnica w zachowaniach jest wynikową obecności lub braku wyjść ewakuacyjnych, ich rozmieszczenia oraz lokalizacji źródła ognia, która stanowi przeszkodę dla osób znajdujących się w sąsiedztwie pożaru oraz wpływa na wartość czasu opóźnienia. Dla pierwszego wariantu (bez wyjść ewakuacyjnych) osoby podejmujące działania ratownicze poruszają się w kierunku najbliższego portalu, z tym że użytkownicy, dla których w ciągu najkrótszej drogi ewakuacyjnej zlokalizowany jest pożar, będą zmuszeni podjąć ewakuację drugim, dalszym portalem. Dla tuneli z wyjściami ewakuacyjnymi, osoby po stronie nawietrznej pożaru opuszczą tunel przez lewy portal, natomiast osoby po stronie zawietrznej kierują się do najbliższego wyjścia ewakuacyjnego, do którego również wliczany jest portal tunelu. Na odcinku 200–300 m ze względu na bliskość miejsca pożaru (50 m od źródła pożaru w obie strony) założono zerowy czas opóźnienia dla wszystkich wariantów. Stosunek liczby mężczyzn i kobiet wynosi: 50% – kobiety oraz 50% – mężczyźni.

Tabela 2. Zestawienie minimalnej i maksymalnej szerokości ramion osób ewakuowanych w zależności od płci [40]
Table 2. Comparison of the minimum and maximum arm widths for evacuees by sex [40]

	Minimum [cm] Minimum [cm]	Maksimum [cm] Maximum [cm]
Mężczyźni Men	40,6	49,3
Kobiety Female	36,6	45,0

Tabela 3. Comparison of minimum and maximum mobility speeds for individuals depending on sex and fitness [40]
Table 3. Comparison of minimum and maximum speeds of individuals by age and fitness [40]

	Minimum [m/s] Minimum [m/s]	Maksimum [m/s] Maximum [m/s]
Mężczyźni Male	1,1	1,6
Kobiety Female	1,05	1,45
Niepełnosprawni Disabled	0,71	1,25

3.3. Wyniki obliczeń numerycznych

Kryterium bezpiecznej ewakuacji, opisujące nierówność czasu trwającego od początku powstania pożaru do momentu, w którym wszystkie osoby w tunelu drogowym zdołają się ewakuować w bezpieczne miejsce względem czasu osiągnięcia krytycznego stanu środowiska w tunelu, pozwala na przeprowadzenie oceny bezpieczeństwa użytkowników tunelu w warunkach pożaru. Dostępny czas bezpiecznej ewakuacji T_{ASET} jest czasem, po przekroczeniu którego warunki w tunelu drogowym stają się krytyczne dla jego użytkowników. T_{ASET} określany jest przez parametr, który pierwszy osiągnie lub przekroczy wartość uznawaną za zagrażającą życiu lub zdrowiu ludzi. Do parametrów tych zgodnie zalicza się: temperaturę powietrza, gęstość strumienia promieniowania cieplnego, temperaturę gorących gazów pożarowych, zasięg widoczności w tunelu oraz zawartość tlenu. Z uzyskanych rezultatów, po uwzględnieniu korekty wynikającej z procesu walidacji [19], wnioskować należy, że pierwsze osiągnięcie krytycznego stanu środowiska spowodowane jest spadkiem poziomu widoczności poniżej wartości 10 m, które nastąpiło po upływie 378 s. Na tej podstawie określono dopuszczalny czas ewakuacji. Wymagany czas ewakuacji skalkulowano, dodając czas detekcji i alarmu do czasu wyewakuowania się z tunelu ostatniej osoby (oszacowanej przy wykorzystaniu Pathfinder), uwzględniając przyjęte czasy opóźnienia użytkowników. Wartość czasu ewakuacji użytkowników do bezpiecznego miejsca z tunelu bez wyjść ewakuacyjnych, czyli dla wariantu I wyniósł 1267 s, dla wariantu II – 408 s, a dla tunelu z wyjściami co 250 m wyniósł 348 s. Zestawione rezultaty wymaganego i dostępnego czasu ewakuacji określone przy wykorzystaniu narzędzi Pathfinder oraz FDS wraz z zestawieniem liczby osób bezpiecznych oraz zagrożonych przedstawia tabela 4.

Niespełnienie kryterium bezpiecznej ewakuacji oznacza, że w momencie pojawienia się krytycznych warunków środowiskowych w tunelu drogowym przebywa pewna liczba osób, która do tego momentu nie zdążyła przemieścić się w bezpieczne miejsce. Osoby te narażone są na utratę zdrowia lub życia.

4. Podsumowanie

Analizy numeryczne pozwalają na kompleksową ocenę poziomu bezpieczeństwa w tunelach drogowych oraz innych obiektach budowlanych, zwłaszcza na etapie projektowym. Znaczna część problemów dotyczących systemów bezpieczeństwa i zjawiska pożaru może również zostać rozwiązana na drodze modelowania numerycznego. Ponadto metody te mają użyteczne zastosowanie w wielu dziedzinach techniki.

W artykule przedstawiono najważniejsze aspekty związane z procesem oceny bezpieczeństwa użytkowników tuneli drogowych w warunkach pożaru, za pomocą narzędzi numerycznych. Ocena ta wiąże się m.in. z właściwym wyborem narzędzi modelowania numerycznego w celu wyznaczenia wymaganego i dostępnego czasu ewakuacji oraz przyjęciem poprawnych warunków początkowo-brzegowych. Biorąc pod uwagę cel przeprowadzanych badań numerycznych, należało również przyjąć odpowiednią strategię działania wentylacji wzdłużnej oraz zapewnienia odpowiedniej wartości prędkości przepływu powietrza w tunelach, na co z kolei wpływa liczba i rozmieszczenie urządzeń wentylacyjnych.

Podstawowym ograniczeniem wykorzystanych metod badawczych jest potrzeba ich uwiarygodnienia na drodze eksperymentalnej [41]. Do oceny adekwatności wybranych metod obliczeniowych stosuje się walidację i weryfikację. Weryfikacja dotyczy sprawdzania prawidłowego rozwiązywania równań modelu. Proces ten nie kontroluje poprawności tych równań, ale sposób ich rozwiązywania. Innymi słowy weryfikacja pozwala zbadać zgodność systemu symulacyjnego z jego założeniami. Walidacja z kolei polega na analizie poprawności rozwiązywanych równań modelu matematycznego. Sprowadza się zazwyczaj do porównania wyników modelowania z pomiarami eksperymentalnymi. Pozwala więc na sprawdzenie, w jakim stopniu model jest wiernym odzwierciedleniem rzeczywistego stanu, przy takich samych danych wejściowych [15]. Różnice w wynikach, których nie da się uzasadnić jako błędy numeryczne lub wytłumaczyć przy wykorzystaniu niepewności pomiaru, są przypisywane do założeń modelu jako jego uproszczenia [42].

Liczne badania weryfikacji i walidacji wykorzystanych programów oraz ich wyniki potwierdzają adekwatność wybranych narzędzi symulacyjnych do poruszanej problematyki badawczej oraz stanowią podstawę do przyjęcia uzyskanych wyników modelowania numerycznego jako zbliżonych do rzeczywistości.

5. Wnioski

Przedstawiony materiał pozwala na sformułowanie następujących wniosków:

1. Do oceny bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego w warunkach pożaru wykorzystać można kryterium bezpiecznej ewakuacji, jednak jego wyznaczenie wymaga określenia czasu pojawienia się w tunelu krytycznych warunków środowiskowych oraz czasu wyewakuowania się wszystkich użytkowników tunelu w bezpieczne miejsce, co zazwyczaj rozwiązywane jest na drodze modelowania numerycznego.

Tabela 4. Wyniki obliczeń numerycznych wymaganego oraz dostępnego czasu ewakuacji
Table 4. Calculation results for the required and available evacuation time

Tunel jednokierunkowy o długości 1500 m i mocy pożaru 30 MW / One way tunnel, 1500 metres long and heat release rate of 30 MW	T_{ASET} (FDS)	T_{RSET} (Pathfinder)	**Kryterium $T_{ASET} \geq T_{RSET}$ Criterion $T_{ASET} \geq T_{RSET}$**	**Liczba osób w bezpiecznym miejscu / The number of people in a safe area**	**Liczba osób zagrożonych / The number of endangered people**
bez wyjść ewak. / absence of emergency exits	378 s	1267 s	niespełnione / not achieved	127	300
wyjścia co 500 m / emergency exit distance – 500 m	378 s	408 s	niespełnione / not achieved	415	12
wyjścia co 250 m emergency exit distance – 250 m	378 s	348 s	spełnione met / not achieved	427	0

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.23

2. Wybór narzędzi numerycznych powinien być poprzedzony szczegółową analizą weryfikacji i walidacji wykorzystywanych programów.
3. Na podstawie wyników badań przeprowadzonych dla tunelu jednokierunkowego o długości 1500 m, z systemem wentylacji wzdłużnej, o prostokątnym przekroju poprzecznym i 0° spadku wzdłużnym, w warunkach pożaru o mocy 30 MW stwierdzić można, że nie zostanie zapewniony wymagany poziom bezpieczeństwa podczas ewakuacji, w przypadku braku wyjść ewakuacyjnych oraz rozmieszczenia ich co 500 m dla przyjętego scenariusza pożarowego. W analizowanym przypadku wyjścia ewakuacyjne powinny być rozmieszczone co 250 m.
4. Wyniki badań oraz przyjęta metodologia mogą stanowić podstawę do kontynuacji analiz w celu wyznaczenia granicznych odległości pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi, dla których użytkownicy tunelu zdołają bezpiecznie opuścić obiekt.
5. Wyniki badań wskazują, iż możliwe jest stosowanie systemu wentylacji wzdłużnej w tunelach drogowych o długości powyżej 1000 m, pod warunkiem zastosowania dodatkowych środków technicznych w postaci wyjść ewakuacyjnych, podczas gdy polskie zalecenia prawne dopuszczają stosowanie tego systemu, gdy długość tunelu nie przekracza 1000 m. Wyznaczenie granicznej długości tunelu, dla której istnieje możliwość stosowania wentylacji wzdłużnej, jest ciekawym zagadnieniem i wymaga kontynuacji podjętych badań.

Literatura

[1] Nawrat S., Schmidt-Polończyk N., Napieraj S., *Selected issues concerning protection of road tunnel structures and ventilation systems in relation to fire haza*rd, "AGH Journal of Mining and Geoengineering" 2012, 235-245.

[2] PIARC: *Lessons Learned From Recent Tunnel Fires*. France: PIARC Committee on Road Tunnels Operation (C3.3), 2006.

[3] PN-EN ISO 13943: 2002 Bezpieczeństwo pożarowe - terminologia.

[4] Fera M., Macchiaroli R., *Use of analytic hierarchy process and fire dynamics simulator to assess the fire protection systems in a tunnel on fire*, "International Journal of Risk Assessment and Management" 2010, 14(6), 504-529.

[5] HøjN.P.,*Discussionofthehazardsfortunnelsinoperation-presented in context of risk analysis and in design for safety*, Warsaw 2006. [6] RABT: Forschungsgesellschaft fur Strassen-and Verkehrswesen, Richtlinien fuer Ausstattung und Betrieb von Strassentunneln, 2006.

[7] British Standard PD 7974-6:2004: The application of fire safety engineering principles to fire safety design of buildings. Part 6: Human factors: Life safety strategies-Occupant evacuation, behaviour and condition (Sub-system 6).

[8] *Działanie instalacji przeciwpożarowej wynikającej z założeń scenariusza pożarowego*, [w:] *Podręcznik projektanta systemów sygnalizacji pożaru*, Część I i II. Izba Rzeczoznawców SITP, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2010.

[9] PIARC: Road Tunnels. *Operational Strategies for Emergency Ventilation*. France. PIARC Committee on Road Tunnels 2011.

[10] Fliszkiewicz M., Krauze A., Maciak T., *Możliwości stosowania programów komputerowych w inżynierii bezpieczeństwa pożarowego*. BiTP Vol. 29 Issue 1, 2013, 47-60.

[11] Ronchi E., Kinsey M., *Evacuation models of the future: insights from an online survey of user's experiences and needs*, [in:] *Proceedings of the Advanced Research Workshop: "Evacuation and Human Behaviour in Emergency Situations,* J. Capote, D. Alvear (eds.), Universidad de Cantabria, Spain 2011.

[12] Fliszkiewicz M., Krauze A., *FDS – Wstęp do wentylacji pożarowej – badanie skuteczności projektowanych instalacji wentylacji oddymiającej*, 2015 [dok. elektr.] http://www.inf.sgsp.edu.pl/symulacje/cwiczenia/materialy/wprowadzenie_do_cwiczenia5.pdf,[dostęp: maj 2015].

[13] Haron F., Alginahi Y., Kabir M., Mohamed A., *Software Evaluation for Crowd Evacuation – Case Study*, "Al-Masjid An-Nabawi. International Journal of Computer Science Issues" 2012, 128-134.

[14] McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., Baum H., Rehm R., Mell W. i inni., *Fire Dynamics Simulator (Version 5) Technical Reference Guide*, *Volume 1: Mathematical Model,* NIST Special Publication, Washington 2010.

[15] Chybowski R., Konecki M., Tuśnio N., *Wykorzystanie programu komputerowego do modelowania pożaru w tunelu kablowym*, „Zeszyty Naukowe SGSP" 2009, 39, 61-79.

[16] Maciak T., Czajkowski P., (2015): *Modelowanie rozwoju pożaru w pomieszczeniach zamkniętych. Cz. 1. Model Matematyczny*. [dok. elektr.] http://www.inf.sgsp.edu.pl/symulacje/cwiczenia/materialy/cw4/model_matematyczny_fds.pdf [dostęp: 7 czerwca 2015].

[17] ASTME1355: Standard Guide for Evaluating Predictive Capability of Deterministic Fire Models, American Society for Testing and Materials, Pennsylvania 2015.

[18] McDermott R., McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., *Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 2: Verification*. USA: National Institute of Standards and Technology, 2010.

[19] McGrattan K., Hostikka S., Floyd J., McDermott R., *Fire Dynamics Simulator (Version 5). Technical Reference Guide. Volume 3: Validation*, National Institute of Standards and Technology, USA 2010.

[20] Thunderhead Engineering: Pathfinder 2014.2 Verification and Validation, 2014.

[21] Thunderhead Engineering, STIGO: Pathfinder 2011 Instrukcja obsługi. [dok. elektr.] http://www.pyrosim.pl/przydatne-linki/ [dostęp: 8 maja 2015].

[22] Hart P.E., Nilsson N.J., Raphael B., A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. Transactions on Systems Science and Cybernetics (SSCA). SSC-4 (2), 1968, 100-107.

[23] SFPE: *Engineering Guide - Human Behavior in Fire*. USA: Fire Society of Protection Engineers, 2003.

[24] Nelson H. E., Mowrer F. W.: *Emergency Movement*. W S. o. Engineers, The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering. National Fire Protection Association, 2002.

[25] *Guidelines for Evacuation Analysis for New and Existing Passenger Ships*. MSC.1/Circ.1238. London: International Maritime Organization, 2007.

[26] Rozporządzenie Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie. (Dz. U. Nr 63, poz. 735 z póź. zm.).

[27] Dyrektywa 2004/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej.

[28] Atkinson G., Wub Y., *Smoke control in sloping tunnels*, "Fire Safety Journal" 1996, 27(4), 335-341.

[29] Wu Y., Bakar M., *Control of smoke flow in tunnel fires using longitudinal ventilation systems – a study of the critical velocity*, "Fire Safety Journal" 2000, 35(4), 363-390.

[30] Palazzi E., Fabiano B., Pastorino R., Maschio G., *Tunnel ventilation modelling in sloped tunnels*, "Chemical Engineering Transactions" 2009, 17, 349-354.

[31] PIARC: Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels. France: PIARC Committee on Road Tunnels Operation (C3.3), 2007.

[32] PIARC: Fire and Smoke Control in Road Tunnels. France: PIARC Committee on Road Tunnels (C5), 1999.

[33] CETU: Dossier Pilote des Tunnels Équipements, section 4.1 Ventilation: Centre détudes des Tunnels, France, 2003.

[34] British Standard PD 7974-1:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 1: Initiation

and development of fire within the enclosure of origin.
[35] British Standards PD 7974-5:2003. Application of fire safety engineering principles to the design of buildings. Part 5: Fire service intervention.
[36] Mulholland G., *Smoke Production and Properties*, [in:] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 2nd Edition, 1995, 217-227.
[37] Gehandler J., Ingason H., Lönnermark A., Frantzich H., Strömgren M., *Performance-based design of road tunnel fire safety*, Proposal of new Swedish framework. Fire Safety. Case Studies in Fire Safety, 2014, 18–28.
[38] BD 78/99 Design Manual for Roads and Bridges. Part 9: Design of Road Tunnels. United Kingdom 1999.
[39] Sztarbała G., *Oddziaływanie wiatru na przepływ powietrza w tunelu w warunkach pożaru*, Rozprawa doktorska, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2012.
[40] Smith J., *Agent-Based Simulation of Human Movements During Emergency Evacuations of Facilitie,* American Society of Civil Engineers, Canada: American Society of Civil Engineers, 2008, 1-10.
[41] Jaszczur M., Nowak R., Szmyd J., Branny M., Karch M., Wodziak W., *An application of SPIV technique to experimental validation of the turbulence model for the air flow in the intersection of the mining face with the ventilation gallery*, "Journal of Physics" 2011, 1-6.
[42] Brzezińska D., *Rozprzestrzenianie się dymu. Poprawność wykonania symulacji komputerowych CFD*, „Ochrona Przeciwpożarowa" 2008, 34-35.

* * *

prof. dr hab. inż. Stanisław Nawrat – profesor na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Kierownik Zamiejscowego Ośrodka Dydaktycznego w Jastrzębiu Zdroju.

dr inż. Natalia Schmidt-Polończyk – asystentka na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. W 2016 roku obroniła rozprawę doktorską pt. *Ocena możliwości stosowania systemu wentylacji wzdłużnej w długich tunelach drogowych*. Obszarem zainteresowań autorki są zagadnienia wentylacji, bezpieczeństwa pożarowego oraz ewakuacji.

mgr inż. Sebastian Napieraj – asystent na Wydziale Górnictwa i Geoinżynierii Akademii Górniczo-Hutniczej im. Stanisława Staszica w Krakowie. Pracował w międzynarodowych zespołach, między innymi w Norwegii, Ukrainie i Niemczech, zajmuje się zagadnieniami wentylacji i bezpieczeństwa w podziemnych obiektach oraz zwalczaniem zagrożeń naturalnych i wykorzystaniem metanu pokładów węgla w górnictwie.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 265–274

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.24

mgr **Tomasz Kłosiewicz**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 04.07.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 26.07.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Niski poziom wiedzy pracowników zespołów ratownictwa medycznego na temat medycznych działań ratowniczych wykonywanych przez strażaków-ratowników

Low Level of Knowledge among Rescue Teams about Medical Rescue Procedures Performed by Firefighters

Низкий уровень знаний работников бригад скорой медицинской помощи о спасательных медицинских действиях выполняемых пожарными-спасателями

ABSTRAKT

Cel: Głównym celem pracy była ocena wiedzy pracowników zespołów ratownictwa medycznego (ZRM) na temat: zakresu medycznych działań ratowniczych podejmowanych przez strażaków oraz sprzętu medycznego, który może być przez nich stosowany podczas udzielenia kwalifikowanej pierwszej pomocy. Celami dodatkowymi było sprawdzenie, jak personel medyczny ocenia wykonywane przez strażaków czynności ratownicze, a także zbadanie jego poziomu satysfakcji ze współpracy z jednostkami Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego (KSRG)**.**
Projekt i metody: Badaniem ankietowym objęto 129 medyków pracujących w zespołach ratownictwa medycznego. Narzędzie badawcze stanowiła ankieta zawierająca 17 pytań. Część pytań dotyczyła znajomości procedur KPP, które mogą być wykonywane po kursie kwalifikowanej pierwszej pomocy oraz sprzętu, który wchodzi w skład zestawu ratowniczego R1, używanego przez jednostki KSRG. W innych pytaniach, które miały formę skalowaną, poproszono respondentów o subiektywną ocenę jakości wykonywanych przez strażaków procedur KPP, opartą na własnych doświadczeniach, a także określenie poziomu zadowolenia ze wspólnie prowadzonych akcji. W dodatkowych pytaniach ankietowani przedstawiali między innymi oczekiwania, jakie stawiają przed ratownikami KSRG.
Wyniki: 39,5% badanych potrafiło prawidłowo określić, jakie przyrządy mogą być użyte przez ratownika. Natomiast 12% prawidłowo wskazało zakres ich kompetencji. Osoby, które zadeklarowały, że mają związek ze szkoleniami w zakresie kwalifikowanej pierwszej pomocy, częściej odpowiadały prawidłowo. Większość respondentów (97,8) wie o istnieniu procedur KPP i zna ich treść pobieżnie (42%). Najsłabiej oceniona została umiejętność udrażniania dróg oddechowych (średnia ocen 2,90), a najlepiej zdolność uciskania klatki piersiowej (średnia ocen 3,72). 93% ankietowanych uznało, że wspólne ćwiczenia są dobrą formą poprawienia współpracy pomiędzy strażakami a zespołami ratownictwa medycznego. Zaproponowano także między innymi zwiększenie liczby godzin szkolenia z zakresu kwalifikowanej pierwszej pomocy oraz możliwość odbycia zajęć praktycznych w jednostkach ochrony zdrowia. Średnia ocena satysfakcji ze współpracy wyniosła 3,4.
Wnioski: Należy poczynić działania mające na celu rozszerzenie wiedzy pracowników zespołów ratownictwa medycznego w zakresie organizacji ratownictwa medycznego w KSRG. Powinno się także poszukać przyczyny niskiej oceny prowadzonych przez strażaków działań ratowniczych.

Słowa kluczowe: organizacja ratownictwa, ratownictwo medyczne, straż pożarna, zespół ratownictwa medycznego, współpraca
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The main purpose of this study was to assess the medical knowledge and competence of firefighter rescue teams in the use of medical equipment when providing medical first aid at a scene of an incident. Additionally, medical staff evaluated medical procedures performed by firefighters and examined the level of satisfaction achieved from the collaborative partnership with establishments of the National Rescue and Firefighting System (NRFS)
Project and Methods: A survey was performed amongst 129 personnel from medical rescue teams, who were employed as ambulance crew. The survey contained 17 questions. Some questions concerned the knowledge of medical procedures, which can be performed by firefighters after the successful completion of a first aid qualifying course and about equipment used by the NRFS, including a R1 rescue set. Other questions, with a scaled character, asked respondents for subjective assessments based on personal experience, about the quality of performed procedures undertaken by firefighters and also sought to identify the level of satisfaction from collaborative operations. Finally, respondents were asked to comment about expectations they aspired for from firefighters.

[1] Uniwersytet Medyczny im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu / Poznan University of Medical Sciences; klosiewicz.tomek@gmail.com;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.24

Results: Some 39.5% of respondents correctly identified which equipment can be used by firefighters, while 12% correctly indicated the scope of their competence. Respondents who declared an association with the first aid training qualification provided correct answers more frequently. The majority of respondents (97.8) know about the existence of medical procedures and were familiar with their content superficially (42%). The ability to clear an airway passage received the lowest score in the assessment (average score 2.90) whereas chest compressions ability was rated the highest (average score 3.72). About 93% of respondents considered that combined training is good for improving cooperation between firefighters and emergency medical teams. Among other issues, it was proposed that the first aid qualification course should be increased in duration and practical training should take place in healthcare establishments. Average satisfaction rating stood at 3.4.
Conclusions: It is appropriate to take necessary steps and broaden the knowledge of medical rescue team members within the scope of the NRFS medical rescue organisation. It is also appropriate to find the cause for low assessment scores associated with rescue procedures performed by firefighters.

Keywords: organization of rescue activity, medical rescue, Fire Service, medical rescue team, collaboration
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Основная цель работы заключалась в оценке знаний среди работников бригады скорой медицинской помощи относительно: 1. Объема медицинских действий, проводимых пожарными 2. медицинского оборудования, которое может ими использоваться во время предоставления квалифицированной первой помощи. Дополнительные цели включали в себя изучение, как медицинский персонал, оценивает спасательные действия, выполняемые пожарными, а также изучение удовлетворённости сотрудничеством с подразделениями Национальной Спасательно-Гасящей Системы (KSRG)
Проект и методы: В исследовании приняли участие 129 спасателей, работающих в бригадах скорой медицинской помощи. Исследовательским методом был опрос, содержащий 17 вопросов. Некоторые из вопросов касались знаний процедур квалифицированной первой помощи, которые могут быть выполнены после обучения квалифицированной первой помощи и оборудования, которое входит в состав спасательного оборудования R1, используемого подразделениями KSRG. В других вопросах со шкалой оценки респонденты субъективно оценивали качество квалифицированной первой помощи, предоставляемой пожарными, основываясь на своем собственном опыте, а также определяли уровень удовлетворенности от совместных действий. В дополнительных вопросах респонденты представляли, среди прочем, свои ожидания в отношении спасателей KSRG.
Результаты: 39,5% респондентов смогла правильно определить, какие инструменты могут быть использованы спасателем. В то время как 12% правильно указали объем их компетенции. Те, кто заявили, что учувствовали в обучениях по квалифицированной первой помощи, часто отвечали правильно. Большинство респондентов (97,8) знает о существовании процедур квалифицированной первой помощи и более менее знает их содержание (42%). Хуже всего было оценено умение очистки дыхательных путей (средний балл 2,90), а лучше способность сжатия грудной клетки (средний балл 3,72). 93% респондентов считает, что совместные учения являются хорошей формой улучшения сотрудничества между пожарными и бригадами скорой медицинской помощи. Кроме того, было предложено, среди прочем, увеличение количества часов подготовки в области квалифицированной первой помощи и провести практические курсы в подразделениях здравоохранения. Средняя оценка удовлетворения составила 3,4.
Выводы: Необходимо прилагать усилия по расширению знаний работников бригад скорой медицинской помощи в области организации медицинской помощи в KSRG. Следует также искать причину низкой оценки действий проводимых пожарными.

Ключевые слова: организация службы спасения, первая медицинская помощь, Пожарная Служба, бригада первой скорой помощи, сотрудничество
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Na mocy ustawy o Państwowym Ratownictwie Medycznym z dnia 8 września 2006 roku utworzono system Państwowe Ratownictwo Medyczne (PRM), a zarazem zorganizowano trzystopniową hierarchizację pomocy medycznej. Najbardziej powszechny i podstawowy poziom stanowi pierwsza pomoc, którą definiuje się jako czynności podejmowane przez osoby znajdujące się na miejscu zdarzenia. Udzielanie pierwszej pomocy leży w obowiązku obywateli. Niepokojąco przedstawiają się wyniki badań wskazujące, że w przeciągu ostatnich lat społeczeństwo deklarowało coraz mniejszą gotowość do niesienia pomocy [1]. Kursy z zakresu pierwszej pomocy są obecnie szeroko dostępne. Wchodzą w skład okresowego szkolenia BHP czy kursu dla kierowców. Również wiele prywatnych firm zajmuje się organizacją zajęć z pierwszej pomocy.

Kolejnym poziomem jest kwalifikowana pierwsza pomoc, która jest udzielana przez ratownika. Zgodnie z ustawą ratownikiem jest osoba, która ukończyła kurs kwalifikowanej pierwszej pomocy oraz jest zatrudniona lub pełni służbę w jednostkach współpracujących z Systemem Państwowe Ratownictwo Medyczne. Zalicza się do nich służby powołane do niesienia pomocy, takie jak Państwowa i Ochotnicza Straż Pożarna oraz społeczne organizacje ratownicze (np. Polski Czerwony Krzyż) i inne jednostki pozarządowe uprawnione do wykonywania ratownictwa wodnego narciarskiego i górskiego, a także jednostki podległe lub nadzorowane przez Ministra Spraw Wewnętrznych i Ministra Obrony Narodowej. Zadaniem jednostek współpracujących z Systemem PRM jest udzielanie pomocy osobom w stanach nagłego zagrożenia zdrowotnego przed przybyciem zespołu ratownictwa medycznego, na prośbę tego zespołu lub wtedy, gdy ze względu na specyfikę miejsca zdarzenia, jednostki ochrony zdrowia nie mają dostępu do poszkodowanego. Sytuacje takie mają miejsce na przykład podczas wypadków na wysokości, gdzie personel medyczny nie ma możliwości dostania się do poszkodowanego w bezpieczny sposób. W zakresie kompetencji ratowników leży samodzielne wykonywanie nieinwazyjnych zabiegów, służących do podtrzymania życia prawie we wszystkich stanach, w których jest ono zagrożone. Według statystyk Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej w roku 2014 jednostki Państwowej Straży Pożarnej wykonywały czynności w ramach kwalifikowanej pierwszej pomocy 18198 razy, z czego 3191 razy podczas pożarów i 15007 podczas miejscowych zagrożeń. Łącznie w 2014 roku jednostkom ochrony zdrowia przekazano 22,433 osób poszkodowanych. Wśród najczęściej wykonywanych działań ratowniczych wymienia się prowadzenie tlenoterapii oraz udzielanie poszkodowanemu wsparcia psychologicznego [2].

Ostatnim poziomem pomocy medycznej są medyczne czynności ratunkowe. Są to świadczenia opieki zdrowotnej udzielane przez: lekarzy systemu, pielęgniarki systemu oraz

ratowników medycznych. Obsadę specjalistycznych zespołów ratownictwa medycznego (ZRM) stanowią minimum trzy osoby uprawnione do przeprowadzania medycznych czynności ratowniczych (MCR), w tym obowiązkowo lekarz systemu. Natomiast podstawowy ZRM składa się z minimum dwóch osób uprawnionych do wykonywania MCR. W skład zespołu podstawowego nie wchodzi lekarz. W 2014 roku w Polsce funkcjonowało 598 zespołów specjalistycznych oraz 889 zespołów podstawowych. Liczba interwencji wszystkich ZRM wyniosła 3 mln. 93 tys., co stanowiło 80,4 wyjazdów na 100 tysięcy mieszkańców [3].

Nagłych stanów zagrożenia życia z natury nie można przewidzieć. Na świecie nie istnieje idealny system ochrony zdrowia. Każdy ma pewne ograniczenia i musi być dostosowany do lokalnych warunków, które uwzględniać będą takie czynniki jak demografia, epidemiologia czy stopień zamożności. Integracja ratownictwa to między innymi stworzenie płynnego łańcucha, w którym wszystkie ogniwa idealnie ze sobą współgrają. Współpraca personelu medycznego z jednostkami straży pożarnej jest również nieodłącznym elementem działań, chociażby podczas udzielania pomocy ofiarom wypadków komunikacyjnych. W przypadku ciężkich obrażeń ciała należy kierować się zasadą „złotej godziny". Jest to czas od wystąpienia urazu do chwili podjęcia leczenia w szpitalu. Niezależnie od rodzaju prowadzonych działań, dla członków zespołów ratownictwa medycznego ważne jest wsparcie w czynnościach, takich jak: uciskanie klatki piersiowej, pomoc w przeniesieniu poszkodowanego do karetki, czy stabilizacja kręgosłupa szyjnego. Asysta w tej postaci pozwala medykom skupić się na wykonywaniu innych procedur, niejednokrotnie wymagających dużej precyzji i koncentracji. Bezpieczne postępowanie z poszkodowanym z podejrzeniem urazu kręgosłupa, już w fazie oceny wstępnej, wymaga współpracy co najmniej 3 osób [4]. Znajomość tych samych technik ratowniczych przez obsadę jednostek o różnych poziomach zaawansowania jest ważna dla sprawnego przeprowadzenia procedury. Szczególną sytuacją są wypadki masowe, kiedy siły i środki ratownictwa medycznego są niewystarczające do udzielenia pomocy wszystkim poszkodowanym w stanie bezpośredniego zagrożenia dla życia. Odpowiednia organizacja pomocy medycznej na miejscu zdarzenia zakłada udział jednostek ochrony przeciwpożarowej czy społecznych organizacji ratowniczych. Pracownik ZRM, który został wskazany przez dyspozytora medycznego jako kierujący akcją medyczną, musi zdawać sobie sprawę z tego, jakim potencjałem dysponuje. Przynajmniej w początkowej fazie działań ratownicy mogą wesprzeć członków zespołów ratownictwa medycznego poprzez wykonanie niezbędnych procedur ratujących życie. Dlatego wiedza medyków odnośnie tego, jakim sprzętem i umiejętnościami dysponują ratownicy jest bardzo istotna. Biorąc pod uwagę aspekt organizacyjny jest to kluczowy element do stworzenia sprawnie działającego łańcucha ratunkowego.

Celem głównym pracy było sprawdzenie, czy personel ZRM wie, jakie procedury ratownicze z zakresu KPP mogą być wykonywane przez strażaków. Jako cel dodatkowy postawiono subiektywną ocenę skuteczności wykonywania tych procedur przez strażaków, dokonaną przez personel ZRM.

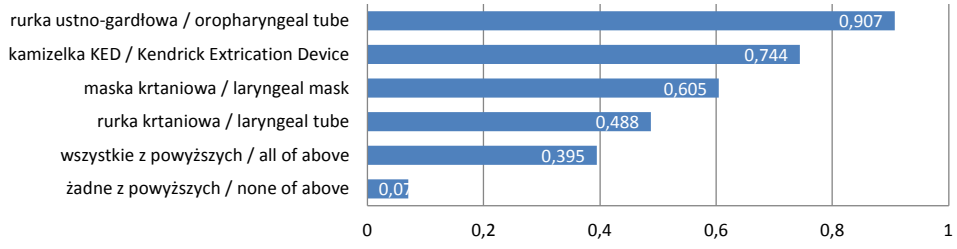
2. Materiał i metoda

W celu realizacji celu pracy przeprowadzono autorską ankietę składającą się z 17 pytań zamkniętych, w tym 6 pytań opartych na punktowej skali oceny. W pytaniach 5-9 poproszono respondentów o ocenę jakości wykonywania przez ratowników konkretnych czynności. Ocena ta miała być oparta na subiektywnych, indywidualnych doświadczeniach badanego. Użyto 5-punktowej skali, gdzie wartość 1 oznaczała całkowity brak poprawności wykonania czynności (co skutkowało ich nieskutecznością). Z kolei wartość 5 oznaczała całkowitą poprawność wykonania czynności. Pytanie 11 dotyczyło oceny zadowolenia respondenta z dotychczasowej współpracy z jednostkami PSP/OSP. W tym przypadku wartość 1 oznaczała całkowity brak zadowolenia, a wartość 5 całkowitą satysfakcję. Pozostałe pytania (1-4, 10, 12) miały charakter wielokrotnego wyboru i dotyczyły znajomości kompetencji ratowników, dostępnego dla nich sprzętu oraz znajomości procedur, a także oczekiwań, jakie personel medyczny stawia przed strażakami. Pytania 13-16 stanowiły metrykę kwestionariusza. Jako instruktora KPP określono respondenta, który prowadzi lub prowadził w przeszłości kursy z zakresu KPP dla jednostek współpracujących z systemem PRM. Z badania wykluczono natomiast osoby deklarujące, że pracują bądź pracowały w Państwowej lub Ochotniczej Straży Pożarnej. Wyniki badań opracowano przy użyciu programu Microsoft Excel 2007 oraz Statistica 10.

3. Wyniki badań

W badaniu wzięło udział łącznie 129 pracowników systemu Państwowego Ratownictwa Medycznego. Największą grupę stanowili ratownicy medyczni (86,05%), następnie pielęgniarki (9,30%) i lekarze (4,65%). Staż pracy ankietowanych w zespołach ratownictwa medycznego przedstawiał się następująco: 6-10 lat – 30,2%, 2-5 lat – 27,9%, powyżej 10 lat – 27,9% oraz staż mniejszy niż 1 rok – 14%. 46,5% ankietowanych zadeklarowało, że obecnie lub w przeszłości prowadziło kursy KPP.

W pytaniu 1 poproszono badanych o wskazanie, które z wymienionych przyrządów mogą być używane przez ratowników podczas udzielania kwalifikowanej pierwszej pomocy. O tym, że w kompetencji ratowników leży użycie rurki ustno-gardłowej wiedziało 90,7% badanych, kamizelek KED – 74,4% badanych, maski krtaniowej – 60,47%, a rurki krtaniowej – 48,8%. 39,5% zaznaczyło wszystkie odpowiedzi, natomiast 7,0% wskazało, że użycie żadnego z tych urządzeń nie leży w kompetencji ratowników (ryc. 1).



Ryc. 1. Użycie których przyrządów leży w zakresie kompetencji ratownika?
Fig. 1. The use of which device falls under the competence of rescuers?
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.24

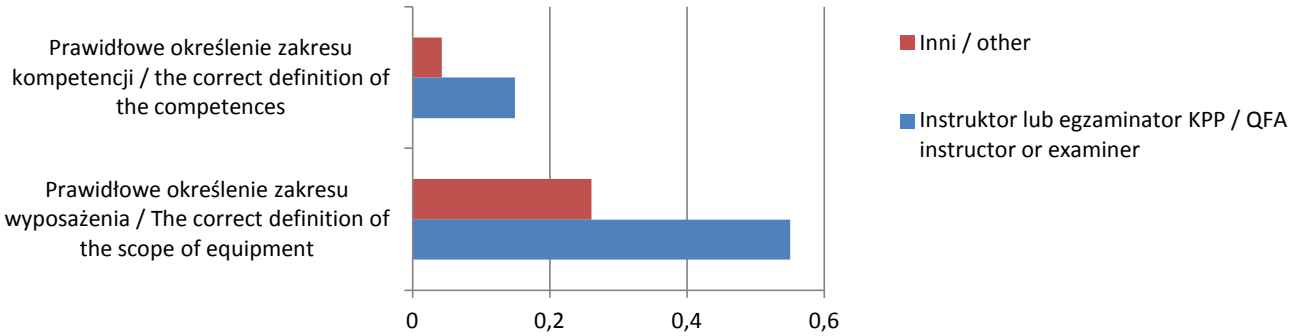
W pytaniu 2 ankietowanych poproszono o zaznaczenie czynności, które mogą być podejmowane przez ratowników w ramach kwalifikowanej pierwszej pomocy. Jako czynność należącą do zakresu kompetencji ratowników 93,0% respondentów wskazało samodzielną ewakuację z pojazdu poszkodowanego we wstrząsie krwotocznym, 88,4% wentylację workiem samorozprężalnym w przypadku NZK, 88,4% samodzielne stosowanie tlenoterapii biernej, 82,2% unieruchomienie na desce ortopedycznej, 60,5% wykonanie defibrylacji półautomatycznej, 60,5% prowadzenie segregacji medycznej, 32,6% pomiar saturacji i 30,2% pomiar zawartości dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu. 12% ankietowanych wskazało, że wszystkie z powyższych czynności mogą być wykonywane przez ratowników, natomiast 3% uznało, że żadna z powyższych czynności nie leży w ich kompetencji (tabela 1).

Odpowiedzi udzielone przez instruktorów KPP stanowiły większy odsetek prawidłowo określonych kompetencji i wyposażenia ratowników. W pierwszym pytaniu 55% z nich zaznaczyło odpowiedzi prawidłowe, natomiast w pytaniu 2 – 15%. Dla porównania, inni badani odpowiednio 26,1% i 4,3% (ryc. 2).

Tabela 1. Wykonanie których czynności medycznych u osoby w stanie nagłego zagrożenia zdrowotnego leży w kompetencji ratownika?
Table 1. In life threatening situations, which medical procedure may be performed by a rescuer?

Czynność / Procedure	Procent udzielonych odpowiedzi / Percentage of given answers
pomiar zawartości dwutlenku węgla w wydychanym powietrzu (kapnometria) / measuring carbon dioxide exhilation	30,2%
pomiar saturacji krwi tlenem / measuring blood saturation by oxygen	32,6%
wykonanie defibrylacji półautomatycznej / semiautomatic defibrillation	60,5%
prowadzenie segregacji medycznej / triage	60,5%
samodzielne (bez nadzoru medyka) unieruchomienie na desce ortopedycznej / independent (without medical supervision) immobilization on an orthopedic board	82,2%
wentylacja workiem samorozprężalnym w przypadku NZK / ventilation with bag valve mask in case of sudden cardiac arrest	88,4%
samodzielne stosowanie tlenoterapii biernej / independent (without medical supervision) oxygen supplementation	88,4%
samodzielna (bez nadzoru medyka) ewakuacja z pojazdu poszkodowanego we wstrząsie krwotocznym / independent (without medical supervision) evacuation of the casuality with hemorrhagic shock	93,0%
żadne z powyższych / none of above	3,0%
wszystkie z powyższych / all of above	12,0%

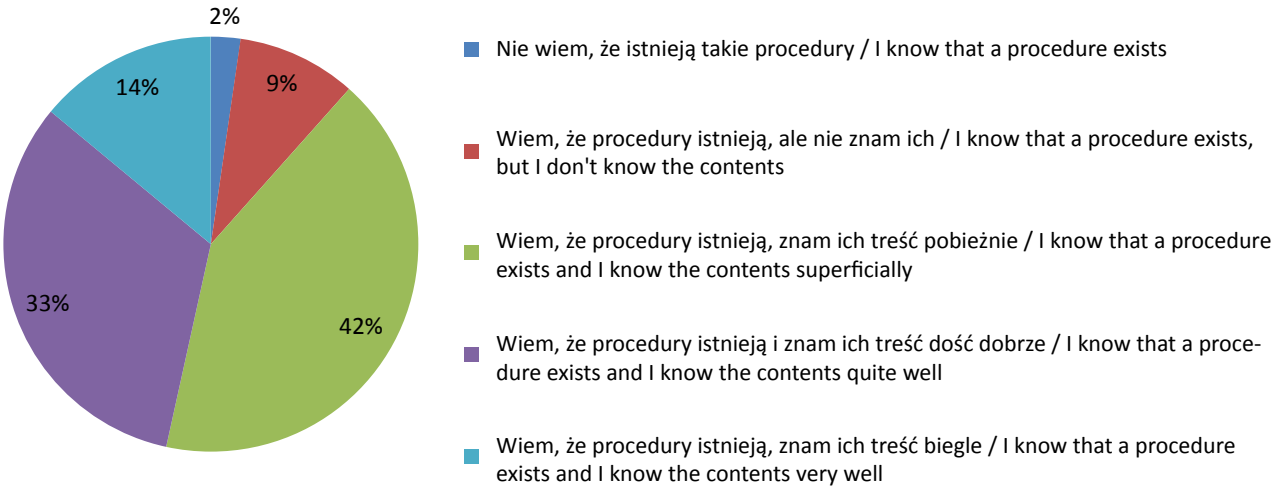
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 2. Znajomość kompetencji i wyposażenia medycznego w Straży Pożarnej. Porównanie grup instruktorów KPP i innych ankietowanych
Fig. 2. Knowledge of competences and medical equipment in Fire Department. Comparsion between QFA instructors and other respondents
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

W pytaniu 3 zapytano badanych, czy wiedzą, którzy strażacy odbywają kurs kwalifikowanej pierwszej pomocy. 79,1% osób wskazało, że wszyscy strażacy, 11,6% uznała że jedynie ci, których zadaniem będzie udzielenie pomocy na miejscu wypadku. Natomiast 4,7% wskazała, że tylko ci strażacy, którzy zgłoszą się jako ochotnicy do odbycia kursu. 4,7% nie posiadała wiedzy na ten temat.

W kolejnym, 4 pytaniu, zadaniem ankietowanych była ocena swojej znajomości procedur KPP obowiązujących w jednostkach KSRG. 97,8% badanych wiedziało o istnieniu procedur. 41,9% zadeklarowało pobieżną ich znajomość, 32,6% dość dobrą, 14% biegłą, a 9,3% brak ich znajomości. 2,3% wskazało, że nie wiedzą o istnieniu procedur postępowania (ryc. 3).



Ryc. 3. Jak ocenia Pani/Pan swoją znajomość procedur postępowania medycznego obowiązujących w Straży Pożarnej?
Fig. 3. How do you rate your knowledge of medical procedures that hold true in Fire Service?
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Pytania 5-9 zostały poświęcone ocenie jakości działań wykonywanych przez strażaków. Medyków poproszono, aby zaznaczyli w skali od 1 do 5 poprawność wykonywanych czynności medycznych, gdzie wartość 1 oznaczała brak prawidłowości, a w związku z tym stałą konieczność korygowania działań. Natomiast wartość 5 oznaczała wysoką jakość działań i brak potrzeby ich poprawy. Ocenie poddano: uciskanie klatki piersiowej, zakładanie kołnierza ortopedycznego, stabilizację poszkodowanego na desce ortopedycznej, bezprzyrządowe oraz przyrządowe udrażnianie dróg oddechowych. Najlepiej oceniono umiejętność uciskania klatki piersiowej – średnia wartość udzielonych odpowiedzi wyniosła 3,72. Następnie unieruchamianie poszkodowanego na desce ortopedycznej – średnia 3,67, zakładanie kołnierza ortopedycznego – średnia 3,35, bezprzyrządowe udrażnianie oddechowe dróg oddechowych – średnia 3,30. Najgorzej zostało ocenione przyrządowe udrażnianie dróg oddechowych – średnia 2,9. Szczegółowy rozkład odpowiedzi przedstawia tabela 2 oraz rycina 4.

Instruktorzy KPP oceniali wykonanie powyższych czynności słabiej niż pozostałe osoby. Porównanie tych dwóch grup zaprezentowano na rycinie 5.

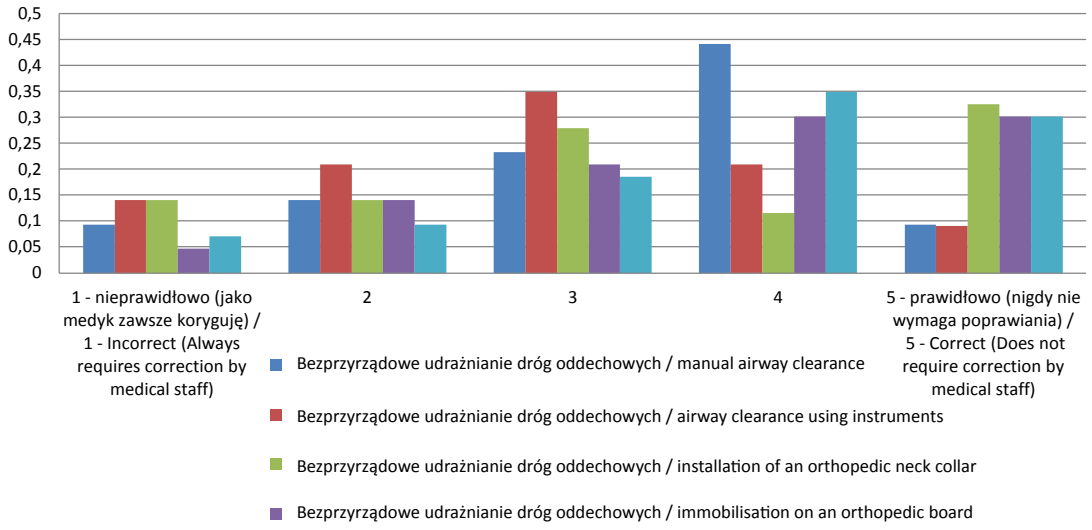
Tabela 2. Zestawienie odpowiedzi na pytania dotyczące oceny jakości wykonywanych przez strażaków czynności medycznych
Table 2. Summary of responses to questions concerning the evaluation of quality of medical procedures performed by firefighters

Czynność / Procedure	1 - nieprawidłowo (jako medyk zawsze koryguję) / 1 - Incorrect (Always requires correction by medical staff)	2	3	4	5 - prawidłowo (nigdy nie wymaga poprawiania) / 5 - Correct (Does not require correction by medical staff)
Bezprzyrządowe udrażnianie dróg oddechowych / manual airway clearance	9,3%	14,0%	23,3%	44,2%	9,3%
Przyrządowe udrażnianie dróg oddechowych / airway clearance using instruments	14,0%	20,9%	34,9%	20,9%	9,0%
Zakładanie kołnierza ortopedycznego / installation of an orthopedic neck collar	14,0%	14,0%	27,9%	11,6%	32,6%
Unieruchamianie na desce ortopedycznej / immobilisation on an orthopedic board	4,7%	14,0%	20,9%	30,2%	30,2%
Uciskanie klatki piersiowej podczas resuscytacji / chest compressions during resuscitation	7,0%	9,3%	18,6%	34,9%	30,2%

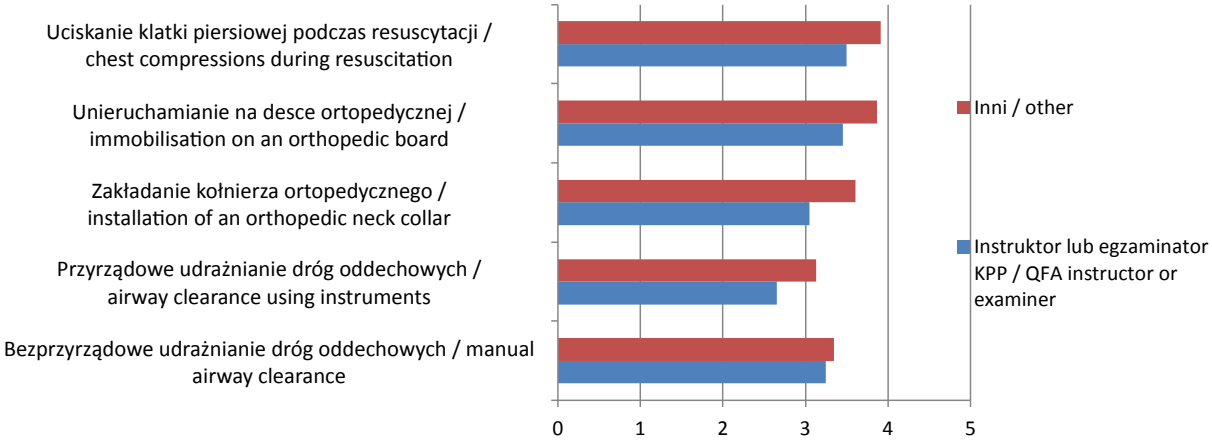
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

W pytaniu numer 10 zapytano, jakie oczekiwania medycy stawiają wobec strażaków. Najwięcej – 86,0% medyków spodziewa się zapewnienia bezpieczeństwa w miejscu zdarzenia, 79,1% pomocy w przeniesieniu poszkodowanego do karetki, 79,1% wykonania medycznych czynności z zakresu KPP leżących w zakresie kompetencji ratowników, 18,6% asystowania w zaawansowanych zabiegach medycznych. 14,0% respondentów liczyło na pomoc we wszystkich powyższych czynnościach, natomiast 2,3% nie oczekiwało żadnej pomocy (ryc. 6).

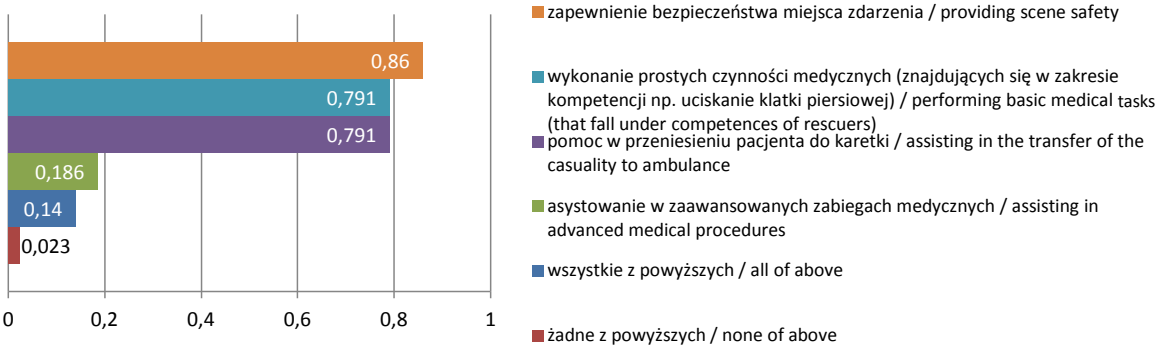
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.24



Ryc. 4. Porównanie wyników zawartych w tabeli 2
Fig. 4. The comparison of results comprised in table 2
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



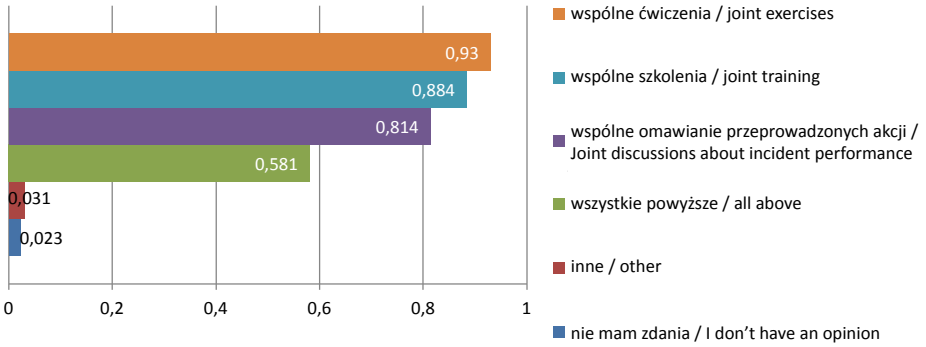
Ryc. 5. Ocena działań medycznych. Porównanie grup instruktorów KPP i innych ankietowanych
Fig. 5. Evaluation of medical procedures. Comparsion between QFA instructors and other responders
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 6. Jakiej formy pomocy oczekuje Pani/Pan od ratowników?
Fig. 6. What kind of assistance do you expect from rescuers?
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

W pytaniu numer 11 poproszono o wyrażenie poziomu zadowolenia z dotychczasowej współpracy ze strażakami. Użyto skali, w której wartość 1 oznaczała całkowite niezadowolenie, natomiast wartość 5 całkowite zadowolenie. Średnia odpowiedzi w tym pytaniu wyniosła 3,4. Osoby, które zadeklarowały, że miały bądź mają związek ze szkoleniami KPP wyrażały mniejsze zadowolenie ze współpracy (średnia 2,9) niż pozostałe osoby (średnia 3,9).

W ostatnim pytaniu indagowano o możliwości poprawy współpracy ZRM z jednostkami PSP/OSP. Wspólne ćwiczenia poparło 93,0% ankietowanych, wspólne szkolenia 88,4%, natomiast wspólne omawianie prowadzonych akcji 81,4% badanych. 58,1% respondentów zaznaczyło wszystkie powyższe odpowiedzi, a 2,3% nie miało zdania. W pytaniu tym umożliwiono grupie badanej wyrażenie własnego zdania poprzez zaproponowanie dodatkowej odpowiedzi. Z możliwości tej skorzystały 4 osoby. Zaproponowano zwiększenie liczby godzin szkolenia z zakresu KPP, zajęcia praktyczne dla strażaków w pogotowiu ratunkowym oraz przyjęcie do PSP ratowników medycznych i przejęcie przez straż zespołów podstawowych (ryc. 9).



Ryc. 9. Co mogłoby według Pani/Pana poprawić współpracę ZRM z jednostkami Straży Pożarnej?
Fig. 9. What do you think could improve cooperation between medical rescue team and Fire Service units?
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

4. Dyskusja

Celem pracy było sprawdzenie, jaki poziom wiedzy o organizacji ratownictwa medycznego w KSRG posiada personel ZRM. Dodatkowo poproszono ankietowanych, aby ocenili jakość wykonywanych przez strażaków procedur KPP. W badaniu stwierdzono, że wiedza ankietowanych dotycząca zakresu kompetencji oraz wyposażenia jednostek KSRG w sprzęt medyczny jest niewystarczająca. Największą liczbę badanych osób stanowili ratownicy medyczni i to w tej grupie zawodowej problem ten wydaje się być szczególnie dostrzegalny. Lekarze systemu oraz pielęgniarki systemu stanowili łącznie mniej niż 15% grupy badanej, stąd nie można wprost wnioskować o stanie wiedzy w tych grupach zawodowych. Prawie wszyscy ankietowani uznali, że w kompetencji strażaków leży używanie rurki ustno-gardłowej, jednak możliwość użycia zaawansowanych, nagłośniowych metod udrażniania dróg oddechowych nie była już dla nich tak oczywista. Możliwe, że stwierdzony brak wiedzy wynika z braku osobistych doświadczeń badanej grupy. Z badań Gałązkowskiego [5] wynika bowiem, że strażacy rzadko udrożniają drogi oddechowe przed przybyciem ZRM, a ankietowani pracownicy ZRM oceniają, że jakość wykonania tych czynności nie jest odpowiednia. Można więc przypuszczać, że strażacy nie wykorzystują dostępnego sprzętu w sposób dostateczny lub zbyt mały nacisk kładzie się na omawiane zagadnienie podczas kursów KPP. Na podstawie tej pracy nie można jednoznacznie odpowiedzieć na to pytanie. Omawiany temat jest zdaniem autora dość istotny i wymaga dalszych badań. Zgodnie ze statystykami Komendy Głównej PSP, w roku 2014 strażacy udrażniali drogi oddechowe 967 razy, z czego 523 razy metodą przyrządową [2]. Jedynie 12% ankietowanych rozpoznało wszystkie czynności, które ratownicy mogą wykonywać samodzielnie. Ten niski wynik świadczy o braku odpowiedniej wiedzy medyków w zakresie kompetencji ratowników, przez co potencjał służb współpracujących podczas akcji ratowniczej z jednostkami systemu PRM może nie być do końca wykorzystany.

Zespół badawczy Szarpak i Orzechowska również wskazują na niedostateczną wiedzę medyków w zakresie KPP. W przeciwieństwie jednak do niniejszej pracy, zespół ten analizował znajomość ustawy o Państwowym Ratownictwie Medycznym [6]. Wiele osób spośród personelu zespołów ratownictwa medycznego podejmuje się dodatkowej pracy w roli dyspozytora medycznego. Zadania dyspozytora medycznego polegają na zebraniu od zgłaszającego wywiadu i na jego podstawie podjęciu decyzji odnośnie wysłania lub niewysłania zespołu. W przypadku, gdy dyspozytor stwierdza zaistnienie nagłego zagrożenia zdrowotnego, lecz na daną chwilę wszystkie ZRM, także lotnicze, są już zadysponowane do innych zdarzeń, może on zwrócić się do dyżurnego stanowiska kierowania PSP z prośbą o zadysponowania zasobów KSRG [7-8]. Krytyczną sytuacją jest przyjęcie zgłoszenia o nagłym zatrzymaniu krążenia. W tym przypadku jedynie szybko podjęte uciskanie klatki piersiowej i wykonanie defibrylacji podnoszą szansę na przeżycie. Tymczasem jedynie 60% respondentów wiedziało, że strażacy mogą przeprowadzić defibrylację półautomatyczną. Wytyczne Europejskiej Rady Resuscytacji kładą szczególny nacisk na szybką defibrylację, wykonaną jeszcze przed przyjazdem pogotowia ratunkowego [9]. Prawidłowo działający program powszechnego dostępu do defibrylacji, który w istotny sposób poprawia przeżywalność ofiar NZK [10], wymaga współpracy służb medycznych z jednostkami współpracującymi z systemem. Prawie wszyscy ankietowani wiedzieli natomiast o istnieniu procedur ratowniczych z zakresu KPP w straży pożarnej. Dobrą lub biegłą ich znajomość zadeklarowało 46,6%. Pracownicy ZRM nie mają obowiązku znajomości tych procedur. Wynik ten z jednej strony może świadczyć o zainteresowaniu wielu osób tematem ratownictwa w jednostkach, z którymi na co dzień współpracują. Z drugiej strony jest on niepokojący, ponieważ współpraca, szczególnie w warunkach stresu, przy braku świadomości czego można wymagać i oczekiwać od współpracowników, może

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.24

nie być maksymalnie efektywna. Ocena jakości wykonywanych przez ratowników czynności w większości przypadków wypadła powyżej średniej, choć nie jest satysfakcjonująca. Żadna z ocenianych umiejętności nie została oceniona dobrze lub bardzo dobrze. Najniżej oceniane jest udrażnianie dróg oddechowych. Podobne wyniki prezentuje między innymi praca Gałązkowskiego i wsp. [5]. Jest to zjawisko niepokojące, ponieważ powyższe czynności są bardzo ważne. Ich niedbałe wykonywanie może skutkować zgonem lub ciężkimi powikłaniami stanu zdrowia poszkodowanego. Z kolei inni autorzy w swoich analizach zwrócili uwagę na niski poziom wiedzy teoretycznej z zakresu resuscytacji wśród strażaków [11-12]. Badania te stanowią przesłankę do zwrócenia uwagi na jakość czynności medycznych. W ramowym programie kursu w zakresie kwalifikowanej pierwszej pomocy ogłoszonym przez ministra zdrowia, metody udrażniania dróg oddechowych zarówno te przyrządowe, jak i manewry ręczne, powinny być omawiane w module dotyczącym resuscytacji krążeniowo-oddechowej. Na ten moduł zajęć przewidziano 2 godziny wykładowe oraz 8 godzin zajęć praktycznych. W jego skład, oprócz nauki RKO we wszystkich grupach wiekowych i nauki udrażniania dróg oddechowych, wchodzą także: nauka usunięcia ciała obcego, prowadzenia wentylacji przyrządowej i bezprzyrządowej, wykonania badania wstępnego dziecka i niemowlęcia [13]. Zawartość tej części szkolenia jest więc dość obszerna. Przewidziano także szkolenie z wykorzystaniem manekinów szkoleniowych. Według jednej z prac, ćwiczenie procedur medycznych na fantomie było tak samo skuteczne jak praca z wykorzystaniem żywych tkanek. Ta praca jednak odnosiła się do trenowania procedur stosowanych w ratownictwie taktycznym. Badani preferowali użycie żywych tkanek [14]. Inni autorzy z kolei donoszą, że w przypadku użycia maski krtaniowej różnica w czasie jej założenia przez osoby doświadczone i niedoświadczone nie jest istotna statystycznie [15]. Wskazane zatem jest poszukiwanie przyczyny tak niskiej oceny udrażniania dróg oddechowych przez strażaków. Łącznie 32,6% badanych medyków oczekiwała pomocy w wykonywaniu zaawansowanych procedur medycznych. Może to być wyrazem niedoboru personelu medycznego w zespołach ratownictwa medycznego, co według niektórych autorów ma istotne znaczenie dla powodzenia akcji ratunkowych. [16]. Prowadzenie zawansowanych zabiegów ratujących życie wymaga, przynajmniej w pierwszej fazie działań, wykonania wielu czynności o różnym stopniu trudności. Związki zawodowe ratowników medycznych od pewnego czasu podnoszą bardzo ważną kwestię bezpieczeństwa pracy w zespołach i możliwości prowadzenia skutecznych medycznych czynności ratunkowych w zespołach dwuosobowych. Wykazano, że jakość prowadzonej resuscytacji jest o 60% niższa niż w zespole trzyosobowym. Zwracano uwagę na uciśnięcia klatki piersiowej. Pomimo to medycy nie powinni oczekiwać od strażaków asysty w zabiegach, które wykraczają poza zakres ich kompetencji. Uzyskany wynik może być kolejnym sygnałem do tego, by przyjrzeć się organizacji ZRM. Co prawda ustawodawca nie nakazuje dysponentowi, aby zespoły podstawowe składały się zawsze z tylko dwóch osób. Jednak użyte w ustawie stwierdzenie „minimum dwie osoby uprawnione do wykonywania medycznych czynności ratunkowych" pozostawia dysponentowi dowolność co do liczby obsady. Z uwagi na obecny system finansowania ZRM, w praktyce oznacza to, że zespoły podstawowe w większej obsadzie są zdaniem dysponentów nieopłacalne. Ogólny poziom zadowolenia ze współpracy nie jest zbyt wysoki. Co ciekawe, osoby, będące instruktorami na szkoleniach KPP, są mniej usatysfakcjonowane. Dodatkowo, w ich ocenie, strażacy również słabiej wykonują medyczne procedury KPP. Natomiast zdecydowanie większy odsetek ankietowanych, którzy prawidłowo określili zakres kompetencji i wyposażenia ratowników stanowili instruktorzy. Takie wyniki mogą być związane z lepszą znajomością przez instruktorów standardów postępowania, procedur KSRG, a w związku z tym także możliwości strażaków. Sprawia to także, że ich oczekiwania co do prawidłowego wykonania danych czynności są wyższe. Pomimo tego, że instruktorzy prezentują większą niż inni respondenci wiedzę w omawianym temacie, to jedynie 15% z nich potrafiło prawidłowo określić zakres czynności, które mogą podejmować ratownicy w ramach KPP. Rezultat ten jest niedopuszczalnie niski. Analizując powyższe wyniki, nasuwa się pytanie, czy kadra medyczna szkoląca ratowników posiada stosowną wiedzę z zakresu medycznych działań ratowniczych? Na chwilę obecną nie ma żadnych przepisów prawnych, które regulowałyby kwestię sprawdzania wiedzy i umiejętności osób, które prowadzą szkolenia KPP poza KSRG. Jedynym wymogiem stawianym instruktorom jest posiadanie co najmniej 3-letniego doświadczenia zawodowego w wykonywaniu medycznych czynności ratunkowych. Dla instruktorów ratownictwa medycznego w PSP podstawą jest ukończenie szkolenia z zakresu metodyki nauczania ratownictwa medycznego w KSRG [7], [13]. Program kursu dla kandydatów na młodszego instruktora ratownictwa medycznego KSRG zakłada weryfikację umiejętności wykonania poszczególnych czynności. Wprowadzenie podobnego kursu dla osób zajmujących się nauczaniem na kursach KPP poza KSRG mogłoby potencjalnie przyczynić się do podniesienia jakości prowadzonych szkoleń.

Pracownicy ZRM powinni posiadać wiedzę, która pozwoli im w optymalny sposób korzystać z pomocy, jaką oferują strażacy na miejscu zdarzenia. Znajomość kompetencji strażaków oraz sprzętu, którym dysponują jest kluczowa dla prawidłowego rozlokowania sił i środków, szczególnie podczas zdarzeń z większą liczbą poszkodowanych. Tymczasem okazuje się, że medycy nie do końca są zorientowani, w jaki sposób jest zorganizowane ratownictwo medyczne w KSRG. Działania ratownicze podejmowane przez strażaków nie są oceniane dostatecznie dobrze. Obowiązkowe, 66-godzinne szkolenie z zakresu KPP oraz system okresowego sprawdzania wiedzy poprzez obowiązek recertyfikacji wydają się być niewystarczające, aby strażacy byli w stanie wykonywać procedury medyczne, spełniając zasadę wysokiej jakości. Wspólne ćwiczenia jednostek obu systemów mają szansę poprawić i uściślić współpracę. Medycy postrzegają je w sposób pozytywny, a ich częstsze organizowanie stworzy okazje do ćwiczenia pod nadzorem praktyków.

5. Podsumowanie i wnioski

Przedstawiona praca ukazała, że osoby pracujące w zespołach ratownictwa medycznego nie posiadają dostatecznej wiedzy na temat medycznych działań ratowniczych podejmowanych przez ratowników KSRG. Powinno to skłonić jednostki odpowiedzialne za kształcenie kadry medycznej do podjęcia kroków, których celem będzie podniesienie świadomości medyków w omawianym temacie. Jednocześnie wskazane jest prowadzenie dalszych badań, które wskażą jednoznacznie na przyczynę niezadowalającej oceny działań ratowniczych prowadzonych przez strażaków. Powinno się także organizować wspólne ćwiczenia obu systemów, które pozwolą zacieśnić współpracę między jednostkami KSRG a ZRM.

Wykaz skrótów

KPP – kwalifikowana pierwsza pomoc
KSRG – Krajowy System Ratowniczo-Gaśniczy
MCR – medyczne czynności ratunkowe
NZK – nagłe zatrzymanie krążenia
OSP – Ochotnicza Straż Pożarna
PRM – Państwowe Ratownictwo Medyczne
PSP – Państwowa Straż Pożarna
QFA – qualified first aid
ZRM – zespół ratownictwa medycznego

Literatura

[1] Grześkowiak M., Pytlińska A., Frydrysiak K., *Wiedza społeczeństwa Wielkopolski na temat resuscytacji.*, „Now lek" 2008, 77(1), 19-24.
[2] Dane statystyczne Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej.
[3] Mały Rocznik Statystyczny. Główny Urząd Statystyczny, Warszawa 2014, 266-267.
[4] Campbell J.E., Stevens J.T., Charpentier L., *Ocena stanu Chorego po urazie*, w: *International trauma life suport – ratownictwo przedszpitalne w urazach*, J.E. Campbell (red.), Wydawnictwo Medycyna Praktyczna, Kraków 2009, 54-71.
[5] Gałązkowski R., Pawlak A., Pszczołowski K., *Rola jednostek Krajowego Systemu Ratowniczo-Gaśniczego w funkcjonowaniu Systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne w rejonach wiejskich w Polsce,* BiTP Vol. 34 Issue 2, 2014, pp. 15-26.
[6] Szarpak Ł., Dec M.A., *Niewystaczająca znajomość ustawy o Państwowym Ratownictwie Medycznym wśród personelu medycznego,* http://www.bhp.abc.com.pl/czytaj/-/artykul/niewystaczajaca-znajomosc-ustawy-o-panstwowym-ratownictwie-medycznym-wsrod-personelu-medycznego [dostęp: 4.08.2015].
[7] Zasady organizacji ratownictwa medycznego w Krajowym Systemie Ratowniczo-Gaśniczym, Państwowa Straż Pożarna, Warszawa 2013.
[8] Wojewódzki plan działania systemu Państwowe Ratownictwo Medyczne dla województwa Wielkopolskiego, Wielkopolski Urząd Wojewódzki, Poznań 2014.
[9] Deakin Ch.D., Nolan J.P., Sunde K., i in., *Elektroterapia: automatyczne defibrylatory zewnętrzne, defibrylacja, kardiowersja i stymulacja*, w: *Wytyczne Resuscytacji 2010*, Anders J. (red), Wydawnictwo Fall, Kraków 2010, 94-95.
[10] Nolan J.P., Soar J., Zideman D.A., i in., *Podsumowanie Komitetu Wykonawczego ERC*, w*: Wytyczne Resuscytacji 2010*, J. Anders (red.), Wydawnictwo Fall, Kraków 2010, 15.
[11] Pilip S., Wójcik A., Michalak G., Gałązkowski R., *Wiedza w zakresie resuscytacji krążeniowo-oddechowej u osób zatrudnionych w wybranych jednostkach współpracujących z systemem państwowego ratownictwa medycznego,* BiTP Vol. 38 Issue 2, 2015, pp. 133-140.
[12] Dąbrowski M., Dąbrowska A., Sip M., Witt M., *Badanie wiedzy w zakresie podstawowych zagadnień resuscytacji u ratowników PSP, studentów medycyny i lekarzy stażystów*, „Now lek" 2008, 77 (1), 19-24.
[13] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 19 marca 2007 r. w sprawie kursu w zakresie kwalifikowanej pierwszej pomocy (Dz.U. 2007 Nr 60, poz. 408).
[14] Savage L., Tenn C., Vartanian O., iin., *A comparison of live tissue training and high-fidelity patient simulator: A pilot study in battlefield trauma training.* http://journals.lww.com/jtrauma/pages/articleviewer.aspx?year=9000&issue=00000&article=99777&type=abstract [accessed: 4.08. 2015].
[15] Saeedi M., Hajiseyedjavadi H., Seyedhosseini J. i in., *Comparison of endotracheal intubation, combitube, and laryngeal mask airway between inexperienced and experienced emergency medical staff: A manikin study*, "Int J Crit Illn Inj Sci" Vol. 4 Issue 4, 2014, pp. 303-308.
[16] Stanowisko Społecznego Komitetu Ratowników Medycznych w sprawie liczebności podstawowych zespołów ratownictwa medycznego.

* * *

mgr Tomasz Kłosiewicz – asystent w Zakładzie Ratownictwa i Medycyny Katastrof Uniwersytetu Medycznego im. K. Marcinkowskiego w Poznaniu. Ratownik medyczny pracujący w zespole ratownictwa medycznego.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 275–284

DOI: 10.12845/bitp.43.3.2016.25

mł. bryg. dr. inż. **Tomasz Drzymała**[1]
st. bryg. w st. spocz. dr. inż. **Sylwester Kieliszek**[1]
mgr inż. **Marcin Szutkowski**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 03.06.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 16.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.09.2016;

Analiza wymagań dla instalacji wodociągowych przeciwpożarowych w wysokich budynkach mieszkalnych[2][3]

An Analysis of Water Supply System Requirements to Enhance Fire Safety in High Rise Residential Accommodation

Анализ требований к системам противопожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie wymagań dla instalacji wodociągowych przeciwpożarowych, ze szczególnym uwzględnieniem wysokich budynków mieszkalnych oraz wyposażenia tego typu budynków w instalacje przeciwpożarowe, zgodnie z regulacjami zawartymi w aktach prawnych i normach. Wymagania porównano z rzeczywistym zużyciem wody do gaszenia pożarów w tych budynkach na przykładzie m. st. Warszawy. Wskazano problemy związane ze spełnieniem wymagań zawartych w aktach prawnych i normach.
Metody: Artykuł opracowano w oparciu o porównanie wymagań dla instalacji wodociągowych przeciwpożarowych w wysokich budynkach mieszkalnych zawartych w przepisach i polskich normach. Porównania dokonano na tle zmian przepisów w ujęciu historycznym. Analizę rzeczywistego zużycia wody do gaszenia pożarów w budynkach mieszkalnych dla m. st. Warszawy przeprowadzono w oparciu o dane statystyczne zawarte w programie „Ewid", który stanowi wyposażenie każdej jednostki ratowniczo-gaśniczej w Polsce.
Wyniki: Na podstawie danych statystycznych można stwierdzić, że wysokość budynku w sposób znaczący wpływa na ilość wody potrzebnej do ugaszenia pożaru. Z danych statystycznych wynika, że na przestrzeni analizowanych lat w budynkach wysokościowych nie odnotowano pożarów dużych i średnich, a w budynkach wysokich wystąpił tylko jeden taki pożar, do którego ugaszenia wystarczyło 0,5 m^3 wody. Średnie i duże pożary w zdecydowanej większości występują w budynkach niskich, tzn. o wysokości do 12 m, rzadziej w średniowysokich tzn. o wysokości do 25 m. Ponadto można zauważyć ciekawą zależność, że wraz ze wzrostem wysokości budynku, średnia ilość wody potrzebna do ugaszenia pożaru maleje. Z powyższego wynika, że wskazana jest szczegółowa analiza wysokich wymagań odnośnie wydajności instalacji w wysokich budynkach mieszkalnych.
Wnioski: Z analizy danych statystycznych wynika, że wraz ze wzrostem wysokości budynku maleje ilość wody potrzebna do ugaszenia pożaru. Główną przyczyną takiej zależności jest wzrost klasy odporności pożarowej budynku wraz ze wzrostem jego wysokości. Skutkuje to wyeliminowaniem materiałów palnych i zwiększeniem wymagań w zakresie klasy odporności pożarowej. Reasumując, obecnie obowiązujące wymagania zawarte w przepisach dotyczących przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę zapewniają możliwość prowadzenia w budynkach mieszkalnych skutecznych działań ratowniczych. Są one jednak nie do końca dopracowane i należałoby je dostosować do panujących realiów. Wskazana jest nowelizacja rozporządzenia w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów, w części dotyczącej instalacji wodociągowych w wysokich budynkach mieszkalnych.

Słowa kluczowe: wymagania dla instalacji wodociągowych, budynki mieszkalne, gaszenie pożarów, systemy gaśnicze, ochrona przeciwpożarowa
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: The objective of this paper is to present the requirements of firefighting water supply systems with special focus on high residential buildings and firefighting equipment in such buildings, according to regulations in legal acts and standards. The requirements were compared with real water consumption for firefighting purposes in the buildings based on a Warsaw City case study. The problems associated with fulfilling the requirements contained in legal acts and standards have been indicated.
Methods: The paper was developed based on the comparison of requirements for firefighting water supply systems in high residential buildings contained in legal acts and Polish standards. The comparison was made with regards to changes in regulations from the historical perspective. An analysis of actual water consumption for firefighting purposes in residential buildings for Warsaw City was made based on statistical data available from "Ewid" software, a standard resource for every rescue/firefighting brigade in Poland.

[1] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service; t.drzymala@sgsp.edu.pl;
[2] Procentowy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / Percentage contribution: T. Drzymała – 40%, S. Kieliszek – 40%, M. Szutkowski – 20%;
[3] Artykuł został wyróżniony przez Komitet Redakcyjny / The article was recognised by the Editorial Committee;

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.25

Results: Based on the statistical data it can be concluded that the height of buildings significantly influences the amount of water consumed for firefighting purposes. It results from the statistical data that no large or medium-sized fires in high buildings were recorded in the analysed years, while in high buildings only one such fire occurred that required only approx. 0.5 m^3 of water. Medium-sized and large fires in most cases occurred in small buildings, i.e. at a height below 12 m, more rarely in medium-high buildings i.e. at a height of up to 25 m. Furthermore, an interesting relationship was noted - the higher the building the less amount of water was required to distinguish the fire. It follows from this that a detailed analysis of the strict requirements for the water capacity of installations in high residential buildings is recommended.
Conclusions: The analysis of the statistical data showed that with increasing building height of the amount of water required for fire extinguishing decreased. A major reason for such a correlation was the increase in fire resistance class of buildings with increasing height. It reflects the exclusion of flammable materials and an increase in requirements in terms of fire resistance class. Summarising, the current requirements contained in the regulations for firefighting water supply provide the possibility of carrying out effective activities in residential buildings. However, they are not refined, and they should be adjusted to the reality. It is recommended that the regulation on the fire protection of buildings, and other buildings objects and sites be amended in the part related to water supplies in high residential buildings.

Keywords: requirements for water supplies, residential buildings, firefighting, firefighting systems, fire protection
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью данной статьи является представление требований к системам противопожарного водоснабжения, с особым акцентом на высотные жилые здания и их противопожарное оборудование в соответствии с положениями, содержащимися в правовых актах и стандартах. Авторы сравнили требования с фактическим использованием воды для тушения пожаров в этих зданиях на примере столичного города Варшавы. Указаны проблемы, связанные с выполнением требований правовых актов и стандартов.
Методы: Статья была разработана на основе сравнения требований систем пожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях, указанных в правовых актах и польских стандартах. Сравнение было сделано в свете изменений в исторической перспективе. Анализ фактического использования воды для тушения пожаров в жилых домах в г. Варшава проведено на основе статистических данных в программе „EWID", которая находится в каждом спасательно-гасящем подразделении в Польше.
Результаты: На основе статистических данных можно сказать, что высота здания существенно влияет на количество воды, необходимое для ликвидации пожара. Статистические данные показывают, что на протяжении лет, которые поддались анализу, в высотных зданиях, не было никаких крупных и средних пожаров. В высоких зданиях был только один такой пожар, для его ликвидации хватило 0,5 м3 воды. Средние и крупные пожары в подавляющем большинстве происходят в низких зданиях, то есть высотой до 12 м, реже в средне высоких, то есть высотой до 25 м. Кроме того, можно заметить интересную корреляцию, с увеличением высоты здания, среднее количество воды, необходимое для ликвидации пожара, уменьшается. В связи с этим нужен подробный анализ строгих требований к производительности систем противопожарного водоснабжения в высоких жилых зданиях.
Выводы: Основной причиной сокращения количества воды, необходимой для ликвидации пожара, является высокий класс огнестойкости высоких зданий. Это связано с отсутствием в таких зданиях горючих материалов и с повышенными требованиями относительно класса огнестойкости. Подводя итог, существующие требования относительно противопожарного водоснабжения обеспечивают возможность проведения эффективных спасательные действий в этих зданиях. Тем не менее, они не полностью доработаны и должны быть приспособлены к существующим реалиям. Авторы рекомендуют внести изменения в положение о противопожарной защите зданий, других строительных объектов и территорий, в части, касающейся систем водоснабжения в высоких жилых зданиях.

1. Wstęp

Jednym z ważniejszych obszarów inżynierii bezpieczeństwa pożarowego, istotnym z uwagi na bezpieczeństwo ludzi przebywających budynkach, jest bezpieczeństwo pożarowe budynków. Wprowadzanie nowych instalacji i systemów umożliwiających wykrycie pożaru w jego wczesnej fazie rozwoju, poinformowanie o powstałym zagrożeniu użytkowników obiektu oraz zapewnienie dla nich odpowiednich warunków ewakuacji są niezwykle ważne. Jednakże samo wykrycie pożaru we wczesnym stadium nie zapewni jego ugaszenia. Dlatego stale wdrażane są nowe systemy i środki umożliwiające skuteczniejsze gaszenie pożarów. Środkami dostępnymi na rynku są m.in.: proszki gaśnicze, mgła wodna, piana gaśnicza oraz gazy gaśnicze. Duży koszt tego rodzaju rozwiązań uniemożliwia zastosowanie ich w budownictwie mieszkaniowym. Fakt ten powoduje, że głównym środkiem wykorzystywanym podczas akcji gaśniczych jest woda. Za jej stosowaniem przemawia niski koszt i duża dostępność. Niedobór tego podstawowego środka gaśniczego lub problemy związane z jego dostarczeniem na miejsce pożaru mogą utrudniać akcje gaśnicze [1, 2]. Polska i inne kraje zobowiązane są do podnoszenia standardów w zakresie bezpieczeństwa ludzi, związanych m.in. z wyposażeniem budynków zarówno istniejących, jak i nowo powstających w instalacje wodociągowe przeciwpoża-

1. Introduction

Among the most important fields of fire safety is fire-safety engineering, important because of the need for the safety of people located inside buildings. The introduction of new installations and systems facilitating fire detection at the early stages, notifying building users of the hazard, and ensuring the appropriate evacuation conditions, are all matters of crucial importance. Nevertheless, detecting a fire at an early stage will not extinguish it. That is why new systems and measures facilitating more effective firefighting are constantly being implemented. The measures available on the market include dry chemicals, water mist, expansion foam and firefighting gases. The high cost of such solutions rules out their use in the housebuilding industry. This means water is the main medium used during firefighting actions. Its low cost and wide availability are among arguments in favour of its use. The shortage of this fundamental fire-extinguishing medium, or problems associated with its supply to the location of the fire, can hinder firefighting actions [1-2]. Poland and other countries are obliged to improve standards in respect of human safety, connected, among other things, with equipping existing buildings, as well as those under construction, with firefighting water supply systems, which facilitate effective rescue operations on higher storeys.

rowe. Zapewniają one prowadzenie skuteczniejszych działań ratowniczych na wyższych kondygnacjach.

W artykule podjęto analizę wymagań w zakresie instalacji wodociągowych przeciwpożarowych ze szczególnym uwzględnieniem wysokich budynków mieszkalnych oraz wyposażenia tego typu budynków w instalacje przeciwpożarowe, zgodnie z regulacjami zawartymi w aktach prawnych i normach. Wymagania porównano z rzeczywistym zużyciem wody do gaszenia pożarów w tych budynkach na przykładzie m.st. Warszawy. W części końcowej zamieszczono wnioski oraz wskazano problemy związane ze spełnieniem wymagań zawartych w aktach prawnych i normach.

2. Wymagania w zakresie wyposażenia budynków mieszkalnych w instalacje wodociągowe przeciwpożarowe

2.1. Wymagania ogólne w oparciu o obowiązujące akty prawne

Pierwszą czynnością, jaką należy wykonać przy określaniu bezpieczeństwa pożarowego budynku, w tym także analizie jego wyposażenia w wymagane instalacje przeciwpożarowe, jest scharakteryzowanie podstawowych parametrów klasyfikacyjnych dotyczących jego przeznaczenia oraz wysokości. W tym zakresie stosowane są zapisy rozporządzenia [4], zgodnie z którym ze względu na wysokość budynki dzielą się na następujące grupy wysokości:

a) niskie (N) – do 12 m włącznie nad poziomem terenu lub mieszkalne o wysokości do 4 kondygnacji nadziemnych włącznie,
b) średniowysokie (SW) – ponad 12 m do 25 m włącznie nad poziomem terenu lub mieszkalne o wysokości ponad 4 do 9 kondygnacji nadziemnych włącznie,
c) wysokie (W) – ponad 25 m do 55 m włącznie nad poziomem terenu lub mieszkalne o wysokości ponad 9 do 18 kondygnacji nadziemnych włącznie,
d) wysokościowe (WW) – powyżej 55 m nad poziomem terenu.

Jednocześnie zgodnie z rozporządzeniem [4] budynki oraz części budynków, stanowiące odrębne strefy pożarowe, z uwagi na przeznaczenie i sposób użytkowania, dzieli się na:

a) mieszkalne, zamieszkania zbiorowego i użyteczności publicznej charakteryzowane kategorią zagrożenia ludzi, określane dalej jako ZL,
b) produkcyjne i magazynowe, określane dalej jako PM,
c) inwentarskie (służące do hodowli inwentarza), określane dalej jako IN.

Budynki oraz części budynków, stanowiące odrębne strefy pożarowe, określane jako ZL, zalicza się do jednej lub więcej spośród następujących kategorii zagrożenia ludzi:

1) ZL I – zawierające pomieszczenia przeznaczone do jednoczesnego przebywania ponad 50 osób niebędących ich stałymi użytkownikami, a nieprzeznaczone przede wszystkim do użytku ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się,
2) ZL II – przeznaczone przede wszystkim do użytku ludzi o ograniczonej zdolności poruszania się, takie jak szpitale, żłobki, przedszkola, domy dla osób starszych,
3) ZL III – użyteczności publicznej, niezakwalifikowane do ZL I i ZL II,
4) ZL IV – mieszkalne,
5) ZL V – zamieszkania zbiorowego, niezakwalifikowane do ZL I i ZL II.

Po dokonaniu wstępnej kwalifikacji obiektu do danej grupy wysokości można zgodnie z rozporządzeniem [7] dokonać analizy obligatoryjnego zastosowania w budynku instalacji wodociągowej przeciwpożarowej, stanowiącej jedno z możliwych zabezpieczeń przeciwpożarowych obiektu. W zakresie analizowanej grupy budynków mieszkalnych, zakwalifikowanych do kategorii zagrożenia ludzi ZL IV, obecnie obo-

This article attempts to analyse the requirements in respect of firefighting water supply systems, with particular focus on high residential buildings and the equipping of such buildings in firefighting systems, in line with the regulations included in legal acts and standards. The requirements were compared with actual water consumption for firefighting purposes in the buildings based on a Warsaw City case study. The final part of this article includes conclusions and indicates problems associated with the meeting of requirements presented in legal acts and standards.

2. The requirements in respect of equipping residential buildings with firefighting water supply systems

2.1. General requirements based on the legal acts in force

The first thing to do when determining the fire safety of a building, and analysing whether it is equipped with the required firefighting systems, is to create a description of basic classifying parameters in respect of the building's intended use and height. In this regard the provisions of the Regulation [4] are used, pursuant to which buildings are classified in terms of their height into the following height groups

a) low-rise (N) – up to 12 m inclusive above ground level or residential buildings with up to 4 floors over the ground level,
b) mid-rise (SW) – from 12 m to 25 m inclusive above ground level or residential buildings with 4 to 9 floors over ground level,
c) tall (W) – from 25 m to 55 m inclusive above ground level or residential buildings with 9 to 18 floors over ground level,
d) high-rise (WW) - higher than 55 m over ground level.

At the same time, in line with the Regulation [4], buildings and their parts that constitute separate fire zones, are divided, in terms of their intended use and occupancy type, into

a) residential, boarding and public buildings, characterised by their occupancy-related fire hazard level, referred to as ZL,
b) manufacturing and warehousing buildings, referred to as PM,
c) livestock buildings (used for livestock breeding), referred to as IN.

Buildings and their parts that constitute separate fire zones, referred to as ZL, are included in one or more of the following categories of occupancy-related fire hazard level

1) ZL I – with rooms intended to accommodate simultaneously more than 50 people who are not their permanent users, and not intended for use by people with reduced mobility,
2) ZL II – intended primarily for use by people with reduced mobility, such as hospitals, crèches, nursery schools, and nursing homes for the elderly,
3) ZL III – public buildings not classified under ZL I and ZL II,
4) ZL IV – residential buildings,
5) ZL V – boarding buildings not classified under ZL I and ZL II.

After a preliminary allocation of a facility to a given height group, in line with Regulation [7], it is possible to analyse the obligatory use of a firefighting water supply system inside the building, which is one of the possible ways of fireproofing the facility. When it comes to the analysed group of residential buildings classified at the ZL IV occupancy-related fire hazard level, the requirements currently in force state that the firefighting water supply system, with appropriate feeding, is to be used only in tall and high-rise residential buildings, and involves only equipment with 52-type hose outlets. Here, it should be underlined that in line with the regulation in force

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.25

wiązujące wymagania precyzują, że instalacja wodociągowa przeciwpożarowa, z zapewnionym odpowiednim zasilaniem, ma być stosowana tylko w wysokich i wysokościowych budynkach mieszkalnych i dotyczy to wyłącznie wyposażenia w zawory hydrantowe 52. W tym miejscu należy zaznaczyć, że zgodnie z obowiązującymi przepisami [3], [7] odpowiedzialnym za realizację obowiązków z zakresu ochrony przeciwpożarowej, w tym związanych z wyposażeniem budynku w wymagane urządzenia i instalacje przeciwpożarowe, jest właściciel, zarządca lub użytkownik obiektu.

2.2. Zasilanie instalacji wodociągowej przeciwpożarowej

Instalacja wodociągowa przeciwpożarowa powinna być zasilana z zewnętrznej sieci wodociągowej przeciwpożarowej lub ze zbiorników o odpowiednim zapasie [7-8]. Ciśnienie w instalacji powinno być podnoszone za pomocą pompowni przeciwpożarowej. W budynkach mieszkalnych wysokich i wysokościowych do zasilania instalacji wodociągowej przeciwpożarowej powinien być zapewniony zapas wody zgromadzony w jednym lub kilku zbiornikach o łącznej pojemności nie mniejszej niż 100 m^3. Dla budynków mieszkalnych wysokich i wysokościowych dopuszcza się:

1) zmniejszenie pojemności zbiorników do 50 m^3 w przypadku, gdy:
   a) budynek nie przekracza wysokości 100 m, a na wysokości powyżej 12 m posiada strefy pożarowe zakwalifikowane wyłącznie do kategorii ZL IV,
   b) budynek nie przekracza wysokości 100 m oraz nie zawiera stref pożarowych o powierzchni ponad 750 m^2,
   c) zapewnione jest zasilanie tych zbiorników w wodę z zewnętrznej sieci wodociągowej przeciwpożarowej o wydajności nie mniejszej niż 10 dm^3/s,
2) zmniejszenie pojemności zbiorników do 25 m^3 w przypadku zapewnienia zasilania tych zbiorników w wodę z zewnętrznej sieci wodociągowej przeciwpożarowej o wydajności nie mniejszej niż 15 dm^3/s,
3) zmniejszenie pojemności zbiorników do 6 m^3 w przypadku, gdy:
   a) budynek nie przekracza wysokości 100 m, a na wysokości powyżej 12 m posiada strefy pożarowe zakwalifikowane wyłącznie do kategorii ZL IV oraz zapewnione jest zasilanie tych zbiorników w wodę z zewnętrznej sieci wodociągowej przeciwpożarowej o wydajności nie mniejszej niż 10 dm^3/s,
   b) budynek nie przekracza wysokości 100 m, nie zawiera stref pożarowych o powierzchni przekraczającej 750 m^2 oraz zapewniono w nim zasilanie tych zbiorników w wodę z zewnętrznej sieci wodociągowej przeciwpożarowej o wydajności nie mniejszej niż 10 dm^3/s,
4) **zasilanie instalacji wodociągowej przeciwpożarowej bezpośrednio z zewnętrznej sieci wodociągowej przeciwpożarowej o wydajności nie mniejszej niż 10 dm^3/s bez konieczności dodatkowego zasilania jej ze zbiorników,**
5) stosowanie jednego wspólnego zbiornika o pojemności co najmniej 100 m^3 dla grupy budynków wzniesionych obok siebie, jeżeli zbiornik nie jest oddalony od żadnego z budynków o więcej niż 100 m,
6) stosowanie zbiorników o pojemności co najmniej 50 m^3 dla grupy budynków wzniesionych obok siebie, jeżeli zbiorniki nie są oddalone od żadnego z budynków o więcej niż 100 m oraz zapewnienia zasilania tych zbiorników w wodę z zewnętrznej sieci wodociągowej przeciwpożarowej o wydajności nie mniejszej niż 10 dm^3/s,
7) stosowanie zbiorników o pojemności co najmniej 25 m^3 dla grupy budynków wzniesionych obok siebie, jeżeli zbiorniki nie są oddalone od żadnego z budynków o więcej niż 100 m oraz zapewnienia zasilania tych zbiorników w wodę z zewnętrznej sieci wodociągowej przeciwpożarowej o wydajności nie mniejszej niż 15 dm^3/s.

Wyjątki określone w punktach 1c, 2, 3a, 3b, 4, 6, 7 mają

[3], [7] the persons responsible for the observance of obligations in respect of fire prevention, including those connected with equipping the building with fire protection equipment and systems, are the owner, manager or user of the facility.

2.2. Feeding the firefighting water supply system

The firefighting water supply system should be fed from an external fire main system, or from tanks with a suitable reserve [7-8]. Pressure in the installation should be increased by a fire pump hose. In tall and high-rise residential buildings, the reserve of water to feed the firefighting water supply system should be present in one or several reservoirs with a total capacity of no less than 100 m^3. In terms of tall and high-rise residential buildings it is allowed to

1) reduce the capacity of tanks to 50 m^3, if
   a) the building is not taller than 100 m, and at heights above 12 m it has fire zones classified solely under the ZL IV category,
   b) the building is not taller than 100 m, and it has no fire zones with an area exceeding 750 m^2,
   c) these tanks are fed with water from an external fire-main system with a capacity of not less than 10 dm^3/s,
2) reduce the capacity of tanks to 25 m^3 if these tanks are fed with water from an external fire-main system with a capacity of not less than 15 dm^3/s,
   reduce the capacity of tanks to 6 m^3, if
   a) the building is not taller than 100 m, and at heights above 12 m it has fire zones classified solely under the ZL IV category, and tanks are fed with water from an external fire-main system with a capacity of not less than 10 dm^3/s,
   b) the building is not taller than 100 m, and it has no fire zones with an area exceeding 750 m^2, and these tanks are fed with water from an external fire main system with a capacity of not less than 10 dm^3/s,
3) **feeding the firefighting water supply system directly from an external fire- main system with a capacity of not less than 10 dm^3/s, without the need for additional feeding from tanks,**
4) use one common tank with a capacity of at least 100 m^3 for a group of buildings erected next to one another, if the distance between the tank and each of the buildings does not exceed 100 m,
5) use tanks with a capacity of at least 50 m^3 for a group of buildings erected next to one another, if the distance between the tanks and each of the buildings does not exceed 100 m, and these tanks are fed with water from an external fire main system with a capacity of not less than 10 dm^3/s,
6) use reservoirs with a capacity of at least 25 m^3 for a group of buildings erected next to one another, if the distance between the tanks and each of the buildings does not exceed 100 m, and these tanks are fed with water from an external fire main system with a capacity of not less than 15 dm^3/s,

The exceptions specified in points 1c, 2, 3a, 3b, 4, 6, and 7 apply only if the facade finish from the side of the fire access road features a Storz hose connection with a diameter of 75 mm, allowing the feeding of the firefighting water supply system from firefighting vehicles.

3. A comparison of requirements in respect of the feeding of firefighting water supply systems over recent years

The Regulation of the Minister of the Interior and Administration on the fire protection of buildings and other building structures and areas [6] was repealed in 2010, and a new

Please cite as: BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 275–284
DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.25

zastosowanie tylko, jeżeli w elewacjach budynków od strony drogi pożarowej wyprowadzona jest dodatkowa nasada o średnicy 75 mm, umożliwiająca zasilanie instalacji wodociągowej przeciwpożarowej z samochodów gaśniczych.

3. Porównanie wymagań w zakresie zasilania instalacji wodociągowej przeciwpożarowej na przestrzeni ostatnich lat

W roku 2010 uchylono rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [6] i wprowadzono nowe rozporządzenie z dnia 7 czerwca 2010 r. w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów [7]. Najważniejsze zmiany dotyczyły sposobu zasilania instalacji wodociągowych przeciwpożarowych, w szczególności w budynkach mieszkalnych. Zgodnie z rozporządzeniem z 2006 roku [6] w budynkach mieszkalnych wysokich i wysokościowych do zasilania instalacji wodociągowej przeciwpożarowej powinien być zapewniony zapas wody zgromadzony w jednym lub kilku zbiornikach o łącznej pojemności nie mniejszej niż 50 m^3. W nowym rozporządzeniu [7] dopuszczono zmniejszenie pojemności zbiorników stanowiących zapas wody tj. 50 m^3, 25 m^3, 6 m^3, a także zrezygnowano z obowiązku zapewnienia dodatkowego zapasu wody zgromadzonego w jednym lub kilku zbiornikach pod warunkiem spełnienia odpowiednich wymagań. Wprowadzone złagodzenia są w szczególności istotne dla budynków istniejących, w których warunki terenowe i architektoniczno-budowlane uniemożliwiały zainstalowanie tak dużych zbiorników przeciwpożarowych.

4. Analiza rzeczywistego zużycia wody do gaszenia pożarów w budynkach mieszkalnych na przykładzie m. st. Warszawy na przestrzeni ostatnich lat

Podczas prowadzenia działań ratowniczych bardzo ważne jest określenie ilości wody niezbędnej do ugaszenia pożaru. Ma to istotny wpływ na charakter prowadzonych działań (natarcie lub obrona), sposób realizowania zasilania samochodów gaśniczych, ustalenie, czy siły i środki, które dojechały na miejsce zdarzenia są wystarczające, czy też niezbędne jest zadysponowanie dodatkowych zastępów. W celu szybkiego

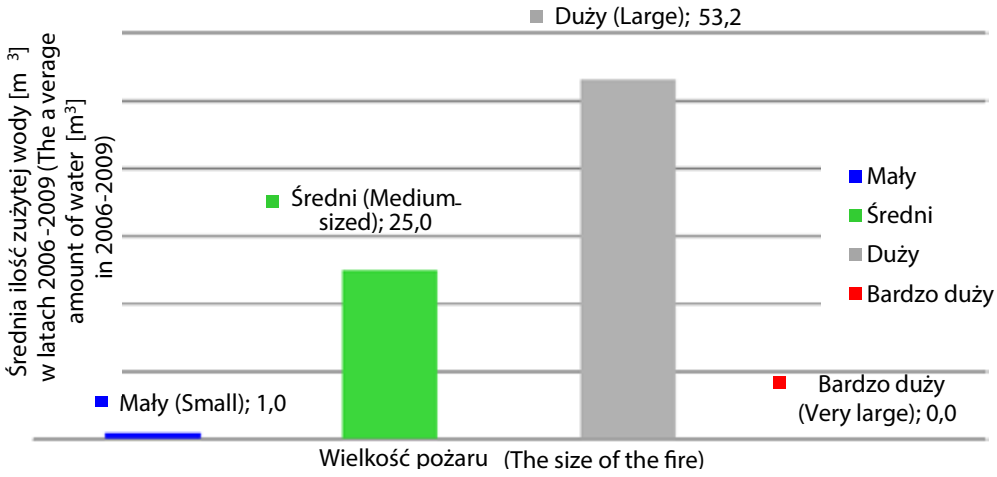
Regulation on fire protection of buildings and other building structures and areas was introduced on 7 June 2010 [7]. The most important changes concerned the manner of feeding the firefighting water supply systems, especially in residential buildings. Pursuant to the Regulation of 2006 [6], in tall and high-rise residential buildings, the reserve of water to feed the firefighting water supply system should be present in one or several tanks with a total capacity of not less than 50 m^3. In the new Regulation [7] it was allowed to reduce the capacity of tanks constituting a water reserve, i.e. 50 m^3, 25 m^3, and 6 m^3, and withdraw from the obligation to provide an additional water reserve accumulated in one or several tanks, provided that appropriate requirements have been met. The introduced relaxation is especially important for existing buildings in which site and architectural and construction conditions have made it impossible to implement so voluminous fire water tanks.

4. An analysis of actual water consumption for firefighting purposes in residential buildings based on the Warsaw City case study over recent years

During rescue operations it is very important to determine the amount of water needed to extinguish the fire. This significantly influences the nature of carried out operations (attack or defence), the manner of feeding firefighting vehicles with water, the determination of whether the strengths and measures that have arrived on the site are enough, or whether it is necessary to dispatch additional brigades. To quickly and properly determine the amount of water needed to extinguish the fire, one can use statistical data. Such data are included in the "Ewid" program, used by every rescue and firefighting unit in Poland.

4.1. The fire sizes in residential buildings vs. the amount of water needed to extinguish them

In residential buildings the most common are small fires, and medium-sized and large fires take place infrequently (Fig. 1). In recent years not a single large fire has broken out. At the same time, one can see that the average consumption of water in the case of small fires has not exceeded 1 m3, 25 m^3 in the case of medium fires, and 53.2 m^3 in the case of large fires [9].



Rys. 1. Zbiorcze zestawienie średniej ilości zużytej wody do ugaszenia jednego pożaru budynku mieszkalnego w zależności od wielkości pożaru w latach 2006-2009
Fig. 1. A summary of the average amount of water used to extinguish a fire in a residential building, depending on the size of the fire in 2006-2009
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.25

i należytego określenia ilości wody potrzebnej do ugaszenia pożaru można posiłkować się m.in. danymi statystycznymi. Takie dane zawarte są w programie „Ewid" stanowiącym wyposażenie każdej jednostki ratowniczo-gaśniczej w Polsce.

4.1. Wielkość pożarów budynków mieszkalnych a ilość wody potrzebna do ich ugaszenia

W budynkach mieszkalnych w zdecydowanej przewadze występują pożary małe, a średnie i duże sporadycznie (ryc. 1). Bardzo duże pożary budynków mieszkalnych w ostatnich latach nie występowały. Jednocześnie można zauważyć, że średnie zużycie wody w tego typu obiektach podczas pożarów małych nie przekracza 1 m^3, przy średnich 25 m^3, natomiast przy dużych 53,2 m^3 [9].

Straty spowodowane pożarami małymi są kilkadziesiąt razy mniejsze niż straty spowodowane pożarami średnimi oraz kilkaset razy mniejsze niż w przypadku pożarów dużych. Straty te obejmują nie tylko szkody wyrządzone przez pożar, lecz także szkody powstałe w wyniku pożaru (straty popożarowe), spowodowane m.in. zalaniem mieszkań położonych na kondygnacjach poniżej mieszkania objętego pożarem. Zatem wielkość pożaru w sposób znaczący decyduje o wysokości poniesionych strat materialnych. Mimo, że z reguły pożary budynków mieszkalnych są pożarami małymi, a ilość wody zużytej do ich ugaszenia jest stosunkowo mała, największą szkodą spowodowaną w tego typu obiektach jest utrata zdrowia, a nawet życia osób, które przebywały w miejscu, gdzie wybuchł pożar. Pożary budynków mieszkalnych stwarzają zagrożenie nie tylko dla osób zamieszkujących te obiekty, ale również dla strażaków, którzy niejednokrotnie narażają swoje życie i zdrowie, udzielając pomocy osobom poszkodowanym. Bardzo ważne jest, aby w trakcie gaszenia pożaru umiejętnie operować prądami wodnymi. Technologia gaszenia pożarów i odpowiednio małe zużycie wody (zapewnienie jej całkowitego odparowania), wpływa na wielkość strat powstałych w trakcie pożaru.

Powyższe rozważania potwierdzają, że w budynkach mieszkalnych w zdecydowanej większości występują pożary małe, do ugaszenia których potrzeba małej ilości wody. Jednocześnie straty materialne spowodowane pożarami średnimi i dużymi są dużo większe niż straty spowodowane pożarami małymi. Niemniej jednak w pożarach małych jest najwięcej rannych i ofiar śmiertelnych, dlatego są one tak bardzo niebezpieczne zarówno dla mieszkańców, jak i ratowników.

4.2. Pożary budynków mieszkalnych na terenie Warszawy w zależności od miejsca działań

Bardzo istotnym elementem, który wpływa na ilość wody zużytej do ugaszenia pożaru, jest miejsce prowadzenia działań gaśniczych. Najwięcej wody zużywane jest podczas prowadzenia działań gaśniczych na dachach i poddaszach. Średnio do ugaszenia pożarów występujących w tych miejscach na jeden pożar zużywane jest 4,92 m^3 wody. Jak na pożary budynków mieszkalnych jest to duża ilość wody, spowodowana trudnością w zlokalizowaniu źródła pożaru. Czynnikiem sprzyjającym szybkiemu rozprzestrzenianiu się ognia jest występująca często drewniana konstrukcja dachu. Dodatkowym utrudnieniem jest składowanie na poddaszach materiałów palnych, które zwiększają obciążenie ogniowe oraz rozwój pożaru. Nie wiele mniej wody zużywane jest w trakcie prowadzenia działań na wysokości – jej ilość wynosi 3,26 m^3. Jest to spowodowane koniecznością wykorzystania drabin i podnośników hydraulicznych, z których prąd wody jest podawany za pośrednictwem działek wodnych o dużej wydajności.

Kolejne miejsce zajmują pożary w piwnicach oraz występujące na poziomie parteru. Ilość wody potrzebna do ich ugaszenia mieści się w granicach od 0,5 m^3 do 2 m^3. Trudnością w prowadzeniu działań w piwnicach jest nagromadzenie materiałów palnych oraz problemy związane ze zlokalizowaniem źródła pożaru, spowodowane dużym zadymieniem.

Losses resulting from small fires are several dozen times smaller than those caused by medium-sized fires and several hundred times smaller than losses caused by large fires. These losses include not only damage done by the fire, but also damage resulting from the fire (fire losses), caused by, e.g., the flooding of flats located on storeys below the flat which was hit by fire. Therefore, the size of fire greatly influences the amount of material losses suffered. While residential building fires are usually small in size, and the amount of water used to extinguish them is relatively modest, the biggest damage caused in such facilities is bodily harm or even the death of people present on site when the fire broke out. Residential building fires are a threat not only to people residing in such facilities, but also to firefighters, who often risk their lives and health when helping the victims. It is very important to skilfully apply water currents while extinguishing the fire. The firefighting technology and suitably modest water consumption (facilitating its total evaporation) impact on the amount of losses caused by the fire.

These considerations confirm that small fires, which require modest amounts of water to extinguish, are most frequently observed in residential buildings. At the same time material losses incurred as a result of medium-sized and large fires are much higher than those resulting from small fires. Nevertheless, small fires cause the highest numbers of victims and fatalities, which is why they are so dangerous for residents and rescue workers.

4.2. Fires in residential buildings in Warsaw depending on the location of the action

A very important factor which influences the amount of water used to extinguish a fire is the location of the firefighting actions. The largest amounts of water are consumed during firefighting actions on roofs and in attics. On average 4.92 m^3 of water per fire is used to extinguish fires located there. Compared to other residential building fires, this is a lot, and results from difficulties in locating the source of fire. What favours the quick spread of a fire is the often found wooden structure of the roof. Another obstacle is the storage of flammable materials in attics, which increase the fire load and development of the fire. Slightly less water is used during actions at heights – they average 3.26 m^3. This is caused by the necessity to use ladders and hydraulic lifts, from which water flow is delivered using high-capacity water monitors.

Another place is fires in basements and on ground floors. The amount of water needed to extinguish this kind of fire is 0.5 m^3 to 2 m^3. One difficulty in conducting actions in basements is the build-up of flammable materials and problems connected with pinpointing the source of the fire, due to considerable accumulation of smoke.

The least water (from 0.2 m^3 to 0.5 m^3) is used to extinguish fires inside flats located on higher storeys. The higher you go the less water is used. The small amounts of water needed to extinguish such fires are associated, among other things, with neighbourly "awareness" and quick notification of Fire Service units. This makes the work of fire-fighters easier, as they have to deal with a fire that has not developed yet. Furthermore, the low water consumption in the extinguishing of such fires is facilitated by the technique of water feeding, i.e. the use of dispersed, pulsating water flows, which increase the efficiency of water evaporation and the quickness of fire extinguishing.

4.3. The impact of building height on the amount of water needed to extinguish fires, based on statistical data from 2006-2009

On the basis of statistical data it is possible to indicate that building height significantly impacts on the amount of water needed to extinguish fires. This correlation is presented in Table 1 [9].

Tabela 1. Zależność wysokości obiektu do ogólnej ilości wody niezbędnej do ugaszenia pożaru
Table 1. The correlation between facility size and the amount of water required to extinguish a fire

Wielkość pożaru (The size of the fire)	**Rodzaj zabudowy oraz wysokość obiektu** (Type and height of building)	**2006**		**2007**		**2008**		**2009**	
		$1^{(*)}$	$2^{(*)}$	$1^{(*)}$	$2^{(*)}$	$1^{(*)}$	$2^{(*)}$	$1^{(*)}$	$2^{(*)}$
		Fires	[m^3]	**Fires**	[m^3]	**Fires**	[m^3]	**Fires**	[m^3]
Mały (Small)	Wolnostojący / Free-standing	1058	847	1048	1314	1001	1430	944	1272
	Kompleks budynków, obiektów / The complex of buildings, facilities	481	176	444	120	419	133	409	203
	Jednokondygnacyjny / Single-storey	108	374	112	459	138	393	107	388
	Niski (N) / Low-rise	515	508	551	86	526	733	549	921
	Średniowysoki (SW) / Mid-Rise	435	70	425	53	404	91	392	86
	Wysoki (W) / Tall	548	89	495	77	505	86	509	80
	Wysokościowy (WW) / High-rise	3	4	11	0.4	7	0.5	4	0
Średni (Medium-sized)	Wolnostojący / Free-standing	7	136	8	160	3	43	6	90
	Kompleks budynków, obiektów / A complex of buildings, facilities	6	157	1	4	5	150	5	182
	Jednokondygnacyjny / Single-storey	4	55	4	67	3	38	4	72
	Niski (N) / Low-Rise	9	157	6	129	5	135	6	198
	Średniowysoki (SW) / Mid-Rise	2	120	1	4	1	30	0	0
	Wysoki (W) / Tall	0	0	1	0.5	0	0	0	0
	Wysokościowy (WW) /High-rise	0	0	0	0	0	0	0	0
Duży (Large)	Wolnostojący / Free-standing	0	0	0	0	2	90	1	20
	Kompleks budynków, obiektów / A complex of buildings, facilities	0	0	1	150	0	0	0	0
	Jednokondygnacyjny / Single-storey	0	0	1	150	0	0	0	0
	Niski (N) / Low-rise	0	0	1	150	1	10	1	20
	Średniowysoki (SW) / Mid-rise	0	0	1	25	1	80	0	0
	Wysoki (W) / Tall	0	0	0	0	0	0	0	0
	Wysokościowy (WW) / High-rise	0	0	0	0	0	0	0	0
Bardzo duży (Very large)	Nie wystąpił / No occurrence								

Oznaczenia: $1^{(*)}$ – liczba pożarów, $2^{(*)}$ – ogólna ilość wody zużytej podczas gaszenia [m^3]
Code: $1^{(*)}$ – the number of fires, $2^{(*)}$ – the total amount of water used to extinguish them
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Najmniej wody (od 0,2 m^3 do 0,5 m^3) zużywane jest do ugaszenia pożarów wewnątrz mieszkań na wyższych piętrach. Wraz z wysokością zmniejsza się zapotrzebowanie na wodę. Tak mała ilość wody potrzebna do ugaszenia tych pożarów związana jest m.in. z „czujnością" sąsiadów i szybkim zaalarmowaniem jednostek straży pożarnej. Dzięki temu strażacy mają ułatwione zadanie, gdyż zastają pożar nierozwinięty. Ponadto na tak małe zużycie wody do ugaszenia tych pożarów wpływa technika podawania wody, czyli zastosowanie rozproszonych prądów podawanych pulsacyjnie, które zwiększają skuteczność odparowania wody oraz szybkość ugaszenia pożaru.

4.3. Wpływ wysokości budynku na ilość wody potrzebnej do ugaszenia pożaru na podstawie danych statystycznych z lat 2006-2009

Na podstawie danych statystycznych można stwierdzić, że wysokość budynku w sposób znaczący wpływa na ilość wody potrzebnej do ugaszenia pożaru. Taka zależność przedstawiona jest w tabeli nr 1 [9].

Wraz ze wzrostem wysokości budynku (czyli też wielkości obiektu) ilość wody niezbędna do jego ugaszenia powinna rosnąć. Jednak dane statystyczne z ostatnich lat nie potwierdzają tej tezy. Z danych przedstawionych w tabeli 1 wynika, że w budynkach wysokościowych średnich i dużych nie było pożarów, a jeden pożar, który wymagał 0,5 m^3 wody do ugaszenia, miał miejsce w budynku średnim. Pożary średnie i duże występują najczęściej w budynkach niskich, czyli do 12 m, a rzadziej w budynkach średniowysokich, czyli do 25 m. Można zaobserwować ciekawą zależność, że średnia ilość wody potrzebna do ugaszenia pożaru maleje wraz ze wzrostem budynku. Zatem teza mówiąca o zwiększonej ilości wody do ugaszenia pożaru w zależności od wysokości budynku jest niezgodna z praktyką.

As the building grows in height (or size) the amount of water needed to extinguish the fire should also increase. However, statistical data from the last few years do not confirm this theory. Data presented in Table 1 indicated that there were no fires in large and medium-sized high-rise buildings, and there was only one fire that needed 0.5 m^3 of water to extinguish it. Medium-sized and large fires occur most frequently low-rise buildings, i.e. those up to 12 m, and more rarely in mid-rise buildings, i.e. those up to 25 m. Furthermore, one can observe an interesting correlation, in which the average amount of water needed to extinguish the fire decreases as the building gets taller. Therefore, the thesis linking the increased amount of water to extinguish the fire depending on the building height is inconsistent with practice.

5. Conclusions

The analysis of fires in residential buildings that took place in 2006-2009 indicated that the most common type of fire in this group was small fires (constituting 99% of all fires), while medium-sized and large fires broke out infrequently. There were no very large fires in the period in question. The average

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.25

snąć. Jednakże dane statystyczne z ostatnich kilku lat nie potwierdzają tej tezy. Z danych zamieszczonych w tabeli 1 wynika, że pożarów dużych i średnich w budynkach wysokościowych na przestrzeni analizowanych lat nie odnotowano, a w budynkach wysokich wystąpił tylko jeden taki pożar, do ugaszenia którego wystarczyło około 0,5 m^3 wody. Pożary średnie i duże w zdecydowanej większości występują w budynkach niskich, tzn. o wysokości do 12 m, rzadziej w średniowysokich tzn. o wysokości do 25 m. Ponadto można zauważyć ciekawą zależność, że wraz ze wzrostem wysokości budynku, średnia ilość wody potrzebna do ugaszenia pożaru maleje. Tym samym teza o wzroście zużycia wody potrzebnej do gaszenia pożaru w zależności od wysokości budynku jest niezgodna z praktyką.

5. Wnioski

Analiza pożarów w budynkach mieszkalnych za lata 2006-2009 wykazała, że w tej grupie obiektów najczęściej występują, pożary małe (stanowiące 99% wszystkich pożarów), sporadycznie średnie i duże, natomiast pożary bardzo duże w analizowanych latach nie wystąpiły. Średnia ilość wody, potrzebna do ugaszenia jednego pożaru, jest stosunkowo niska i wynosi 1,1 m^3. Powyższy fakt świadczy o tym, że do ugaszenia większości pożarów straż pożarna jest w stanie poradzić sobie bez konieczności zapewnienia dodatkowego zaopatrzenia wodnego. Niestety w rzeczywistości, choć rzadko, zdarzają się także pożary duże, do ugaszenia których potrzeba nawet 150 m^3 wody. Takie zapotrzebowanie w wodę zdecydowanie przekracza możliwości, którymi dysponują jednostki ochrony przeciwpożarowej w pierwszej fazie akcji. Do ugaszenia takich pożarów wymagane jest zgromadzenie odpowiednio dużej wielkości sił i środków oraz zapewnienie należytego zasiania wodnego.

Z danych statystycznych wynika, że wraz ze wzrostem wysokości budynku maleje ilość wody niezbędnej do ugaszenia pożaru. Główną przyczyną takiej zależności jest wzrost klasy odporności pożarowej budynku wraz ze wzrostem jego wysokości. Budynki zaklasyfikowane do wyższej klasy odporności pożarowej spełniają bardziej restrykcyjne wymagania w tym zakresie. Nie przechowywane są w nich także materiały palne. Nie oznacza to jednak, że budynki wysokie są bezpieczne. Pożary zawsze będą występowały, także w budynkach wysokich. Zasadniczym problemem podczas gaszenia tej grupy budynków jest właśnie ich wysokość, gdyż ograniczone parametry hydrauliczne urządzeń będących na wyposażeniu jednostek ochrony przeciwpożarowej utrudniają skuteczne działania ratownicze na wyższych kondygnacjach. W celu poprawy bezpieczeństwa i umożliwienia prowadzenia bardziej efektywnych działań ratowniczych w tych obiektach w 2003 roku zobowiązano właścicieli do wyposażenia budynków mieszkalnych zarówno tych istniejących, jak i nowoprojektowanych w instalacje wodociągowe przeciwpożarowe z dodatkowym zasilaniem zgromadzonym w zbiornikach przeciwpożarowych o pojemności co najmniej 50 m^3. W przypadku budynków nowoprojektowanych nie stwarza to problemu, gdyż na etapie projektowania architekci są w stanie zaproponować odpowiednie rozwiązania. Większym problemem okazało się dostosowywanie w tym zakresie budynków istniejących. Ze względu na ograniczone możliwości architektoniczno-budowlane obiektu, zapewnienie do zasilania instalacji wodociągowej przeciwpożarowej zbiorników o pojemności co najmniej 50 m^3 z góry stawało się niewykonalne. Właściciele budynków musieli opracowywawać kosztowne ekspertyzy oraz uzgadniać rozwiązania z właściwym miejscowo komendantem wojewódzkim Państwowej Straży Pożarnej.

Na podstawie danych statystycznych dokonano analizy rzeczywistego zużycia wody podczas gaszenia pożarów. Okazało się, że pożar w budynku mieszkalnym wysokim, w większości przypadków zostaje ograniczony do jednego mieszkania, a ilość wody potrzebna do jego ugaszenia wynosi średnio do 0,5 m^3. Zatem wystarczające jest zapewnienie zasilania instalacji z sieci wodociągowej pod warunkiem zapewnienia odpowiedniej

amount of water needed to extinguish a fire is relatively low, and equals 1.1 m^3. This fact proves that the fire service can cope with most fires without the necessity of providing additional water supply. Unfortunately, however rare they might be, large fires still occur, and can require even 150 m^3 of water. Such demand for water considerably exceeds the capacity of firefighting units in the first phase of the action. To extinguish fires that are large, it is necessary to accumulate sufficiently extensive forces and measures, and provide appropriate water feeding.

Statistical data indicate that as the building gets higher, the amount of water needed to extinguish the fire decreases. The main reason for such change is the increase in the fire resistance rating of the building along with the increase in its height. Buildings classified into higher fire resistance rating classes meet more restrictive requirements in this regard. Also, flammable materials are not stored inside. This does not mean, however, that all tall buildings are safe. Fires will always take place, even in tall buildings. The fundamental problem when extinguishing fires in such buildings is their height, as the limited hydraulic parameters of equipment used by fire protection units make it more difficult to carry out effective rescue actions on higher storeys. To improve safety and facilitate effective rescue actions in such facilities, in 2003 their owners were obliged to equip both existing and newly designed residential buildings with firefighting water supply systems with additional feed from fire water tanks with a capacity of at least 50 m^3. In the case of newly designed buildings this is not a problem, as architects can come up with appropriate solutions at the design stage. The retrofitting of existing buildings in this regard proves more problematic. Due to the architectural and constructional limitations of such facilities, the provision of tanks with a capacity of at least 50 m^3 to feed firefighting water supply systems appeared impossible from the very beginning. Building owners had to design costly reports and arrangements with the locally responsible regional chiefs of the State Fire Service.

Based on statistical data, the actual water consumption for fire extinguishing purposes was determined. It turned out that a fire in a tall residential building, in most cases, can be limited to one flat only, and the amount of water required to extinguish it is 0.5 m^3 on average. Therefore, feeding from an external main system is enough, provided that this installation has the appropriate capacity, facilitated, e.g., by a water pump with an accumulator tank. Therefore, in 2010 the Regulation [7] relaxed the requirements in terms of the firefighting water supply system by removing the obligation to use fire water tanks in residential buildings, provided that this installation were fed directly from the main system with a capacity of at least 10 dm^3/s and a hose connection with a diameter of 75 mm were installed on the side of the fire access road, facilitating the feeding of the installation from firefighting vehicles. Nevertheless, the obligation to ensure a simultaneous water intake from four 52-type hose outlets gives rise to some doubts, as in fact water consumption is low.

Summing up, the requirements included in the rules and regulations in force on the water supply for firefighting purposes allow effective rescue operations in residential buildings to be conducted. They are, however, still imperfect and should be adjusted to the actual conditions.

wydajności tej instalacji, np. za pośrednictwem zestawu hydroforowego. Tym samym w 2010 roku w rozporządzeniu [7] dokonano złagodzenia wymagań dla instalacji wodociągowej przeciwpożarowej, poprzez rezygnację z obowiązku stosowania w budynkach mieszkalnych zbiorników przeciwpożarowych, pod warunkiem zapewnienia zasilania tej instalacji bezpośrednio z sieci wodociągowej o wydajności co najmniej 10 dm^3/s oraz wyprowadzenia od strony drogi pożarowej nasady o średnicy 75 mm, umożliwiającej zasilanie instalacji z samochodów gaśniczych. W dalszym ciągu budzi jednak wątpliwość obowiązek zapewnienia jednoczesnego poboru wody z 4 zaworów hydrantowych 52, gdy w rzeczywistości zużycie wody jest niskie.

Reasumując, obecnie obowiązujące wymagania zawarte w przepisach dotyczących przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę zapewniają możliwość prowadzenia w budynkach mieszkalnych skutecznych działań ratowniczych. Są one jednak nie do końca dopracowane i należałoby je dostosować do panujących realiów.

Literatura / Literature

[1] Osuch-Pajdzińska E., Roman M., *Sieci i obiekty wodociągowe*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2008 r.
[2] Linder J., Struś W., *Ochrona przeciwpożarowa. Budownictwo mieszkaniowe*, Instytut Wydawniczy CRZZ, Warszawa 1979 r.
[3] Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 roku *o ochronie przeciwpożarowej* (tekst jednolity Dz. U. z 2009 r., Nr 178, poz. 1380 z późn. zm.).
[4] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z dnia 12 czerwca 2002 r. *w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie* (Dz. U. z 2002 r., Nr 75, poz. 690 z późn. zm.).
[5] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 16 czerwca 2003 r. *w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów* (Dz. U. z 2003 r., Nr 121, poz. 1138).
[6] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji *w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów* (Dz. U. z 2006 r., Nr 80, poz. 563).
[7] Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 7 czerwca 2010 r. *w sprawie ochrony przeciwpożarowej budynków, innych obiektów budowlanych i terenów* (Dz. U. z 2010 r., Nr 109, poz. 719).
[8] Rozporządzenia Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 24 lipca 2009r., *w sprawie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę oraz dróg pożarowych* (Dz. U. z 2009 r., Nr 124, poz. 1030).
[9] Szutkowski M., *Analiza wymagań w zakresie przeciwpożarowego zaopatrzenia w wodę w odniesieniu do budynków mieszkalnych*, Praca magisterska, SGSP, 2010 r.

Artykuł został przetłumaczony ze środków MNiSW w ramach zadania:
Stworzenie anglojęzycznych wersji oryginalnych artykułów naukowych wydawanych w kwartalniku „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza – typ zadania: stworzenie anglojęzycznych wersji wydawanych publikacji finansowane w ramach umowy 935/P-DUN/2016 ze środków Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego przeznaczonych na działalność upowszechniającą naukę.

* * *

mł. bryg. dr inż. Tomasz Drzymała – jest absolwentem dziennych studiów magisterskich Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, którą ukończył w 2004 roku na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Pracę zawodową rozpoczął w 2004 roku na stanowisku asystenta w Zakładzie Hydromechaniki i Przeciwpożarowego Zaopatrzenia w Wodę. Od 2011 roku zajmuje stanowisko kierownika Zakładu Podstaw Budownictwa i Materiałów Budowlanych w Katedrze Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń. W ramach rozwoju naukowego wygłasza referaty na konferencjach krajowych i zagranicznych, publikuje w czasopismach fachowych. Jest autorem oraz współautorem kilkudziesięciu artykułów i publikacji naukowych na temat ochrony przeciwpożarowej oraz budownictwa. Jego główne zainteresowanie skupia się obecnie na komputerowym modelowaniu procesów gaszenia oraz badaniu wpływu wysokich temperatur na zmianę właściwości materiałów kompozytowych.

Tomasz Drzymała, Ph.D. – a 2004 Graduate of the Main School of Fire Service in Warsaw, in which he pursued full-time studies at the Faculty of Fire Safety Engineering. He started his professional career in 2004 as an assistant in the Hydromechanics and Firefighting Water Supply Department. Since 2011 he has been working as Head of Building Basics and Construction Materials in the Construction Safety Department. As part of his scientific development he prepares papers for national and international conferences, and also publishes them in journals. He has authored and co-authored several dozen articles and scientific publications in the field of fire protection and the construction industry. His main interests currently revolve around the computer modelling of fire extinguishing processes and studying the impact of high temperatures on changes on the properties of composite materials.

st. bryg. w st. spocz. dr inż. Sylwester Kieliszek – ukończył dzienne studia na Wydziale Mechanicznym, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. Posiada uprawnienia rzeczoznawcy ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych. Od ukończenia studiów jest pracownikiem naukowo-dydaktycznym WOSP, a następnie SGSP. W latach 1988-1999 i ponownie od roku 2002 zajmuje stanowisko kierownika Katedry Techniki Pożarniczej. Prowadzi zajęcia z przedmiotów: hydromechanika, przeciwpożarowe zaopatrzenie w wodę, termodynamika. W pracy naukowej zajmuje się głównie badaniem własności przepływowych sprzętu pożarniczego. Jest autorem i współautorem szeregu artykułów oraz wielu ekspertyz z zakresu ochrony przeciwpożarowej. Od wielu lat sprawuje funkcję rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych.

Sylwester Kieliszek, Ph.D. – a Graduate of full-time studies from the Faculty of Power and Aeronautical Engineering of the Warsaw University of Technology. He is a certified fire risk surveyor. Since majoring he has been an academic at the Higher School for Fire Service Officers and then at the Main School of Fire Service. Between 1988 and 1999 and since 2002 he has held the position of the Head of the Firefighting Technical Science Dept. He holds classes in hydromechanics, fire water supply and thermodyna-

DOI:10.12845/bitp.43.3.2016.25

mics. His scientific activities mainly include researching the flow properties of firefighting equipment. He has authored and co -authored a number of papers and expert reports in the field of fire protection. For many years he has acted as a fire risk surveyor.

mgr inż. Marcin Szutkowski – jest absolwentem zaocznych studiów magisterskich Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, którą ukończył w 2010 roku na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. Jest pracownikiem Wydziału Kontrolno--Rozpoznawczego Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie. Od 2013 roku sprawuje funkcję rzeczoznawcy do spraw zabezpieczeń przeciwpożarowych.

Marcin Szutkowski, M.Eng. – a 2010 Graduate of the Main School of Fire Service in Warsaw, in which he pursued extramural studies at the Fire Safety Engineering Faculty. He is a faculty member of the Inspection and Evaluation Department of the Municipal Headquarters of the State Fire Service in Warsaw. Since 2013 he has acted as a fire risk surveyor.

Wytyczne dla Autorów

Maszynopis
Artykuły prosimy przesyłać w wersji elektronicznej w formacie Word. Redakcja przyjmuje do druku oryginalne artykuły naukowe, doniesienia wstępne, artykuły przeglądowe, studia przypadków oraz z praktyki dla praktyki. Maszynopis w języku polskim, angielskim lub rosyjskim nie powinien przekraczać 22 stron (format A4, Times New Roman 12 pkt., interlinia 1,5), pisany bez podziału na kolumny (łącznie 40 000 znaków razem ze spacjami).

Definicje typów artykułów
A. Oryginalny artykuł naukowy – opisane są w nim wyniki dotychczas niepublikowanych badań i eksperymentów naukowych autora lub bezpośrednio mu podlegającego zespołu naukowego, nowych w stosunku do dotychczasowej wiedzy i dorobku w danej dziedzinie, stanowiących oryginalny wkład w światową naukę. Publikacje naukowe są zazwyczaj naukowym źródłem pierwotnym.
B. Doniesienie wstępne (komunikat z badań) – opisane są w nim wstępne, ale już na tym etapie obiecujące wyniki prowadzonych, lecz jeszcze nieukończonych badań;
C. Artykuł przeglądowy – opisuje obecny stan wiedzy w danym obszarze tematycznym, czasem przy uwzględnieniu kontrowersyjnych lub spornych kwestii, zawiera opis zarówno teoretyczny, aktualną i właściwie dobraną literaturę źródłową, jak i praktyczny aspekt zagadnienia; autor powinien uwzględnić nierozwiązane w danej kwestii problemy.
D. Studium przypadku – analiza zdarzeń rzeczywistych – artykuł zawiera opis zdarzenia lub przypadku (jednego lub kilku), ciekawego z naukowego lub praktycznego punktu widzenia; analizę tego zdarzenia, dyskusję opartą na najnowszym piśmiennictwie oraz wnioski wynikające z przeprowadzonej analizy.
E. Z praktyki dla praktyki – podstawą tego artykułu są doświadczenia związane z prowadzonymi akcjami ratowniczym lub innymi praktykami stosowanymi w ochronię przeciwpożarowej, z których wnioski mogą mieć zastosowanie praktyczne w innych tego typu przypadkach.

Abstrakty ustrukturyzowane
Artykuł zgłaszany do redakcji musi być poprzedzony dwujęzycznym abstraktem ustrukturyzowanym według jednego z poniższych przykładów. Artykuły z abstraktem nieustrukturyzowanym krótsze niż 2400 znaków ze spacjami nie będą kwalifikowane przez redakcję do procesu recenzyjnego.

1. Struktura abstraktu dla oryginalnego artykułu naukowego/doniesienia wstępnego
• **Cel** – powinien jasno przedstawiać hipotezę postawioną w artykule;
• **Projekt i metody** – narzędzia i metody użyte w badaniach;
• **Wyniki** – rezultaty badań;
• **Wnioski** – w odniesieniu do hipotezy oraz możliwe kierunki przyszłych badań.

2. Struktura abstraktu dla artykułu przeglądowego/studium przypadku – analiza zdarzeń rzeczywistych
• **Cel** – główne pytania postawione w artykule
• **Wprowadzenie** – kontekst/tło przedstawionego w artykule zagadnienia/problemu/zdarzenia
• **Metodologia** – użyte do omówienia/analizy tematu metody/narzędzia
• **Wnioski** – główne wnioski wynikające z analizy przeglądowej/analizy zdarzenia rzeczywistego

3. Struktura abstraktu dla artykułu z praktyki dla praktyki
• **Cel** – główne pytania postawione w artykule
• **Wprowadzenie** – kontekst/tło przedstawionego w artykule zagadnienia/problemu
• **Wnioski** – główne wnioski wynikające z artykułu i ich znaczenie dla dziedziny
• **Znaczenie dla praktyki** – przedstawienie sugerowanego wykorzystania dla praktyki

Jeśli artykuł nie pasuje do żadnej z powyższych struktur, należy użyć odpowiednio podobnej struktury. Autorzy mają obowiązek podania informacji, jaki rodzaj artykułu przesyłają do redakcji (oryginalny artykuł naukowy, artykuł przeglądowy, doniesienie naukowe, studium przypadku – analiza zdarzeń rzeczywistych lub z praktyki dla praktyki), oraz wstępnie kwalifikują artykuł do jednego z działów:
1. Rozdział autorski*
2. Postacie pożarnictwa
3. Organizacja i zarządzanie strategiczne
4. Nauki humanistyczne i społeczne na rzecz bezpieczeństwa
5. Partnerstwo dla innowacyjności na rzecz bezpieczeństwa
6. Badania i rozwój
7. Certyfikaty, aprobaty i rekomendacje
8. Technika i technologia
9. Szkolenia i propagowanie wiedzy
10. Z praktyki dla praktyki
11. Studium przypadku – Analiza zdarzeń rzeczywistych
12. Ratownictwo i medycyna katastrof
**Do tego rozdziału Komitet Redakcyjny kwalifikuje artykuły szczególnej wagi*

Struktura artykułu
A. **Struktura oryginalnego artykułu naukowego/doniesienia wstępnego:**
1) Tytuł – w jęz. polskim lub w jęz. rosyjskim (Times New Roman 16 pkt., WERSALIKI) oraz w języku angielskim (Times New Roman 14 pkt., tekst zwykły)
2) Abstrakt ustrukturyzowany – cztery akapity z nagłówkami zapisanymi pogrubioną czcionką, **około 2500 znaków ze spacjami w jęz. polskim lub rosyjskim** (jednak nie krótsze niż 2400) oraz **około 2500 znaków ze spacjami w jęz. angielskim (jednak nie krótsze niż 2400 znaków)**; Times New Roman 10 pkt. (W przypadku autorów anglojęzycznych wymagany jest tylko abstrakt w jęz. angielskim).
3) Słowa kluczowe (w jęz. polskim i angielskim lub w jęz. rosyjskim i jęz. angielskim lub tylko w jęz. angielskim w przypadku autorów anglojęzycznych, łącznie do 10 wyrazów; Times New Roman 10 pkt.)
4) Wprowadzenie
5) Metody
6) Wyniki
7) Dyskusja nad metodami i wynikami
8) Podsumowanie/Wnioski
9) Literatura
10) Nota biograficzna o autorze/autorach
B. **Struktura artykułu przeglądowego/studium przypadku/z praktyki dla praktyki:**
1) Tytuł – w jęz. polskim lub w jęz. narodowym autora (Times New Roman 16 pkt., DRUKOWANY) oraz w języku angielskim (Times New Roman 14 pkt., tekst zwykły)
2) Abstrakt ustrukturyzowany – cztery akapity z nagłówkami zapisanymi pogrubioną czcionką, **około 2500 znaków ze spacjami w jęz. polskim lub rosyjskim** (jednak nie krótsze niż

2400) oraz **około 2500 znaków ze spacjami w jęz. angielskim (jednak nie krótsze niż 2400 znaków)**; Times New Roman 10 pkt. (W przypadku autorów anglojęzycznych wymagany jest tylko abstrakt w jęz. angielskim).
3) Słowa kluczowe (w jęz. polskim i angielskim lub w jęz. rosyjskim i jęz. angielskim lub tylko w jęz. angielskim w przypadku autorów anglojęzycznych, łącznie do 10 wyrazów; Times New Roman 10 pkt.)
4) Wprowadzenie
5) Rozdziały zatytułowane przez autora
6) Podsumowanie
7) Wnioski
8) Literatura
9) Nota biograficzna o autorach

Literatura
Odwołania do literatury umieszcza się na końcu artykułu w kolejności pojawiania się w tekście. Przypisy bibliograficzne należy podawać w jednolitej wersji. **Nazwiska i tytuły pisane cyrylicą powinny być podane w transliteracji zgodnie z normą BGN/PCGN**. Zalecane jest odwoływanie się głównie do publikacji recenzowanych. W przypadku dokładnego cytowania w tekście obok numeru przyporządkowanego publikacji zamieszczonej w spisie Literatury podaje się również numer strony, z której pochodzi cytat – np. [2, s. 234]. Cytaty polskojęzyczne należy umieszczać w cudzysłowach, cytaty obcojęzyczne należy pisać kursywą.

Przykłady tworzenia odsyłaczy bibliograficznych w spisie literatury (oparte o system cytowania Chicago):
Cytowanie książek:
Szczerba K., *Bezpieczny dom*, Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2012.

Rozdział pracy zbiorowej
Suchorab P., *Wpływ produktów pochodzenia naftowego na cechy fizyczno-mechaniczne betonu*, w: *Usuwanie substancji ropopochodnych z dróg i gruntów*, J. Rakowska (red.), Wydawnictwo CNBOP-PIB, Józefów 2012, 37–44.

Cytowanie czasopism
Mizerski A., *Piany jako nośniki chemicznych środków neutralizacji skażeń*, BiTP Vol. 29 Issue 1, 2013, pp. 87–93.

Cytowanie publikacji ze źródeł cyfrowych:
Ciekanowski Z., *Motywacja a system ocen*, BiTP Vol. 29 Issue 1, 2013, pp. 29–33 [dok. elektr.] ***http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/31/348*** [dostęp 2 maja 2013].

Cytowanie materiałów pokonferencyjnych:
Adamiec P., *Problemy przy spawaniu i napawaniu części maszyn*, w: *Technologia maszyn. Zbiór referatów: III Naukowe Warsztaty Profesorskie – TM '97, II Forum Prac Badawczych '96 – Kształtowanie części maszyn przez usuwanie materiału*, T. Karpiński (red.), Wydaw. Uczelniane Politechniki Koszalińskiej, Koszalin 1997, 23–31.

Cytowanie komunikatów z badań
Centrum Badania Opinii Społecznej, Komunikat z badań: Aktualne problemy i wydarzenia, [dok. elektr.] ***http://badanie.cbos.pl/details.asp?q=a1&id=4809***, [dostęp 06.05.2013].

Cytowanie ustaw, norm, dyrektyw unijnych:
1) Ustawa z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej (Dz. U. 2009 r. Nr 12 poz. 68).
2) PN-EN 54-4:2001 Systemy sygnalizacji pożarowej – Część 4: Zasilacze.
3) Dyrektywa Komisji 2009/149/WE z dnia 27 listopada 2009 r. dotycząca dyrektywy 2004/49/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w odniesieniu do wspólnych wskaźników bezpieczeństwa oraz wspólnych metod obliczania kosztów wypadków.

Tabele, ryciny, ilustracje
Podpisy do tabel, rycin i ilustracji oraz treść w tabelach, rycinach i ilustracjach należy podawać w języku, w którym został napisany artykuł, oraz w języku angielskim.
Tabele należy dodatkowo przygotować w oddzielnym załączniku. Rysunki należy nadsyłać w formie gotowej do druku jako oddzielne pliki w formacie jpg, png lub tiff (min. 300 dpi, wielkość około 1 MB). Wykresy tworzone w programie Excel (lub w jego odpowiedniku) należy przesyłać w formacie .xls (format programu Excel).
Artykuły bez elementów graficznych odpowiedniej jakości nie będą przyjmowane do druku.
Przy wszystkich tabelach, rycinach, wykresach, zdjęciach itd. należy podać źródło, z którego pochodzą, lub umieścić informację „Opracowanie własne".

Skróty
Rozwinięcia wszystkich użytych w artykule skrótów należy podać w formie wykazu na końcu artykułu.

Autor
W przypisie do nazwiska autora należy podać pełną nazwę instytucji oraz adres korespondencyjny (jak również adres e-mailowy). Autorzy proszeni są o załączenie krótkiej noty biograficznej (ok. 50 słów). Jeśli artykuł ma więcej niż jednego autora, należy podać udział procentowy poszczególnych osób w powstaniu artykułu oraz zakres wkładu merytorycznego (zob. **współautorstwo artykułu**)
Redakcja zobowiązuje się do zachowania poufności informacji dotyczących szczegółowych danych osobowych autorów i recenzentów.

Współautorstwo artykułu
Zgodnie z definicją współautorstwa zawartą w publikacji Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego pt. „Rzetelność w badaniach naukowych oraz poszanowanie własności intelektualnej" to pojęcie należy rozumieć w następujący sposób: Współautor to każdy, kto napisał niewielki nawet jego fragment, wniósł twórczy wkład w jego koncepcję lub układ, brał udział w projektowaniu badań naukowych, których wynikiem jest dany utwór. Współautorem nie jest osoba, która wykonywała czynności administracyjne związane z pracą nad stworzeniem dzieła naukowego (np. szef placówki naukowej, osoba pozyskująca środki do badań, osoba zbierająca dane lub wykonująca obliczenia statystyczne). Prawa do współautorstwa nie nabywa również konsultant, dzielący się swą wiedzą. W związku z powyższym Redakcja zobowiązuje autorów do podawania w artykułach wkładu procentowego oraz wykazywanie zakresu wkładu poszczególnych współautorów w powstanie artykułu, czyli tzw. atrybucji (autor koncepcji, założeń, metod) – tę informację należy umieścić w Deklaracji wkładu autorskiego, którą autor załącza do artykułu przesyłanego do redakcji.

Deklaracja wkładu autorskiego oraz informacja o źródle finansowania znajduje się na stronie internetowej: http://czytelnia.cnbop.pl/wytyczne-dla-autorow.
Redakcja zobowiązuje również autora/autorów do podania informacji o źródle finansowania badań. Odpowiedzialność za prawdziwość powyższych danych ponosi osoba przedkładająca artykuł do druku.

Zapora *ghostwriting* i *guest autorship*
Mając na uwadze prawdziwość publikowanych danych o wkładzie autorskim w powstanie zgłaszanych do druku artykułów i by uniknąć zjawisk typu *ghostwriting* i *guest autorship*, Redakcja kwartalnika „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" zobowiązuje autorów do rzetelnego wykazywania udziału osób trzecich w procesie powstawania artykułu.
1) *Ghostwriting* ma miejsce wtedy, gdy wkład w powstanie artykułu wniosła osoba niewymieniona w wykazie autorów lub w podziękowaniach.
2) *Guest autorship* zachodzi wtedy, gdy artykuł powstał bez udziału osoby wymienionej w wykazie autorów lub wniosła ona znikomy wkład w powstanie danej publikacji.
Zgodnie z wytycznymi Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego Redakcja prosi autorów o ujawnianie wkładu poszczególnych osób w powstanie artykułu przez podawanie udziału procentowego w przypisie do tytułu artykułu.
W przypadku stwierdzenia zjawisk typu *ghostwriting* lub *guest autorship* Redakcja będzie informowała o tym jednostkę naukową zatrudniającą autora, inne stowarzyszenia, których jest on członkiem, inne ośrodki naukowe i redakcje czasopism.

Etyka
Dane opublikowane w kwartalniku „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" powinny być oryginalne. Nie należy przesyłać tekstów, które zostały wcześniej opublikowane w innym czasopiśmie lub monografii. Podawanie fałszywych danych, plagiaty oraz inne działania, które mogą prowadzić do fałszywych wniosków, są nieetyczne. Więcej na temat obowiązującej etyki wydawniczej można przeczytać na stronie internetowej: http://czytelnia.cnbop.pl/wytyczne-dla-autorow.

System antyplagiatowy
Artykuły nadsyłane do redakcji są poddawane ocenie przez internetowy system antyplagiatowy (Plagiat.pl). Nadesłanie artykułu jest równoznaczne z akceptacją faktu, że artykuł może zostać poddany takiej ocenie. Wszystkie wykryte przypadki nierzetelności naukowej redakcja będzie zgłaszać do odpowiednich organów instytucjonalnych.

Copyright
Autor przesyła do Wydawcy pocztą tradycyjną oświadczenie, w którym przekazuje zbywalne prawa autorskie na rzecz CNBOP-PIB na wszelkich polach eksploatacji umożliwiających publikowanie i powielanie w wersji drukowanej i elektronicznej (w tym również na stronie internetowej CNBOP-PIB) oraz na jego publikowanie w innych zintegrowanych naukowych źródłach informacyjnych z możliwością wglądu, pobierania i zwielokrotniania. Autor poświadcza również, że praca nie była wcześniej publikowana, a także nie narusza ona praw autorskich innych osób.
Oświadczenie o oryginalności artykułu oraz o przekazaniu praw autorskich znajduje się na stronie internetowej: http://czytelnia.cnbop.pl/wytyczne-dla-autorow.

Polityka Open Access
Kwartalnik „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" jest publikowany w darmowym i otwartym dostępie tzn. każdy użytkownik ma prawo czytać, kopiować, drukować, rozpowszechniać, cytować i przeszukiwać zasoby otwarte, w tym pełne teksty artykułów, z zachowaniem praw autorskich ich twórców. Użytkownik korzysta z zamieszczonych w Kwartalniku artykułów zgodnie z obowiązującymi przepisami o dozwolonym użytku, podając na kopii utworu informację o źródle i autorze/ach.

Procedura recenzyjna
Wszystkie napływające do Redakcji teksty przechodzą następującą procedurę zgodnie z wytycznymi Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego:
1. Wstępna ocena formalna
Nadesłany artykuł jest poddawany ocenie formalnej przez Redakcję (zgodność z profilem czasopisma oraz z wymogami technicznymi), a następnie kierowany do redaktora działu tematycznego.
2. Kwalifikacja przez Komitet Redakcyjny
Po zaakceptowaniu artykułu przez redaktora działu Redakcja konsultuje poprawność stylistyczną z redaktorami językowymi oraz obliczenia statystyczne z redaktorem statystycznym, jeżeli istnieje taka potrzeba. Artykuł trafia na listę artykułów oczekujących na publikację w Kwartalniku oraz pod obrady Komitetu Redakcyjnego i po akceptacji kierowany jest do recenzentów.
3. Proces recenzji
Artykuł przesyłany jest do dwóch niezależnych recenzentów, którzy są specjalistami w danej dziedzinie (wyższych lub równych stopniem naukowym z autorem), i nie są powiązani z autorem/autorami. **Zarówno autor, jak i recenzenci nie znają swoich tożsamości zgodnie z zasadą *double-blind review* (podwójnie ślepa recenzja).** Po otrzymaniu przez Redakcję dwóch arkuszy recenzji autor informowany jest o ewentualnych uwagach i poprawkach recenzenckich, które powinien nanieść na tekst.
4. Decyzja o publikacji artykułu
Jeżeli jeden z recenzentów dopuści tekst do druku, a drugi odrzuci, redaktor działu, do którego zakwalifikowano artykuł, oraz Redakcja na podstawie analizy uwag zawartych w recenzjach i ostatecznej wersji artykułu podejmują decyzję o skierowaniu go do trzeciego recenzenta. W sytuacji, gdy trzeci recenzent odrzuci artykuł, Redakcja wycofuje tekst z listy oczekujących na publikację w Kwartalniku oraz informuje o swojej decyzji autora artykułu.
5. Konsultacja z Radą Naukową
Po pomyślnym przejściu procedury recenzyjnej tytuł i abstrakt artykułu jest konsultowany z członkami Rady Naukowej kwartalnika – organem opiniującym naukowy kierunek czasopisma.
6. Wybór artykułu numeru
Komitet Redakcyjny po uwzględnieniu opinii recenzenckich wybiera artykuł rekomendowany uwadze Czytelników w danym numerze kwartalnika.

Zapraszamy Autorów, niezależnie od afiliacji, do nadsyłania swoich prac.

Artykuły należy przesyłać na adres:
Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego
Państwowy Instytut Badawczy
ul. Nadwiślańska 213
05-420 Józefów k/Otwocka
Kwartalnik CNBOP-PIB
e-mail: kwartalnik@cnbop.pl

Guide for Authors

Typescript
Articles should be submitted electronically in Word format. Editors will accept for publication original research material, short scientific report, review articles, case studies – analysis of actual events and best practice in action articles. The script in Polish or Russian or English should not exceed 22 pages (A4 format, Times New Roman 12 pts., 1.5 interspaced), written without a division into columns (Total 40,000 symbols, including spaces).

Types of articles
A. Original scientific article – describes the results of not yet published research and scientific experiments carried out by the author, or a team of scientists directly subordinated to him/her. The results are new in relation to the foregoing knowledge and achievements in the particular field, and constitute original contribution to the world's science. Such publications are usually scientific primary sources.
B. Short scientific report (initial report; survey report) – describes initial but at this stage promising results of conducted, but still unfinished research;
C. Review article – describes the current state of knowledge in the particular thematic field, sometimes providing controversial issues and contentions; involves both theoretical (current and properly chosen literature) and practical description of the topic; the author should include into the article unresolved problems related to the issue.
D. Case study – analysis of actual events – an article of this type includes: description of the untypical event / case (one or more), difficult from the scientific and practical point of view; the analysis of this event, discussion based on the up-to-date literature and conclusions derived from the conducted analysis.
E. The best practice in action – the basis for this type of article are experiences related to carried out rescue actions and other fire protection operations, conclusions of which can have practical application in other similar cases.

Structured abstracts
An article submitted for publication shall have a structured abstract written in two languages in accordance with one of the following examples. Articles without structured abstracts and with less than 2400 symbols including spaces will not be qualified for the reviewing process.

1)Abstract structure of an original scientific article/short scientific report
• **Objective** – should clearly state the hypothesis which is formulated in the article
• **Project and methods** – tools and methods used in the research
• **Results** – the outcome of the study
• **Conclusions** – the outcome in relation to the hypothesis and possible directions for future research

2)Abstract structure of a review article/case study – analysis of actual events
• **Objective** – main questions made in the article
• **Introduction** – context / background of the issue/problem introduced in the article
• **Methodology** – methods or tools used in the analysis
• **Conclusions** – main conclusions derived from a review article/analysis of actual events

3) Abstract structure of an article best practice in action
• **Objective** – main questions made in the article
• **Introduction** – context/background of the issue/problem introduced in the article
• **Conclusions** – main conclusions derived from the review article/analysis of actual events
• **Importance for practice** – presentation of suggested application for practice

If the article does not fit none of the aforementioned structures, a most adequate structure shall be applied.
Authors are obliged to inform the editorial office about the type of article they are sending (an original scientific article, a review article, a scientific report, a case study – analysis of actual events or best practice in action article). Moreover, they shall qualify tentatively the article into one of the following chapters:
1. Author's Chapter*
2. People Involved in Firefighting
3. Organization and Strategic Management
4. Humanities and Social Sciences in the Context of Safety
5. Partnership for Safety Innovation
6. Research and Development
7. Certification, Approvals and Recommendations
8. Technique and Technology
9. Training and Knowledge Promotion
10. Best practice in action
11. Case Study – Analysis of Actual Events
12. Rescue and Disaster Medicine
**Editorial Committee qualifies here particularly important articles.*

Article's structure
A. Structure of an original scientific article/short scientific report:
1) Title – in Polish or Russian (Times New Roman 16 pts., uppercase CAPITALS) and in English (Times New Roman 14 pts., lowercase)
2) Structured Abstract – four paragraphs with headings in boldface type, **about 2500 symbols – including spaces in Polish or Russian** (but not less than 2400) and **about 2500 symbols – including spaces in English (but not less than 2400)**; Times New Roman 10 pts. (Native English-speaking authors are requested to provide the abstract only in English language)
3) Keywords (in Polish and English or Russian and English, or only in English in case of native English-speaking authors, a total of 10 phrases; Times New Roman 10 pts.)
4) Introduction
5) Methods
6) Results
7) Discussion about methods and results
8) Summing-up/Conclusions
9) Literature
10) Biographical note about the author(s)
B. Structure of a review article/case study – analysis of actual events / best practice in action article:
1) Title – in Polish or Russian (Times New Roman 16 pts., uppercase CAPITALS) and in English (Times New Roman 14 pts., lowercase)
2) Structured Abstract – four paragraphs with headings in boldface type, **about 2500 symbols – including spaces in Polish or Russian** (but not less than 2400) and **about 2500 symbols – including spaces in English (but not less than 2400)**; Times New Roman 10 pts. (Native English-speaking authors are requested to provide the abstract only in English language)
3) Keywords (in Polish and English or Russian and English, or only in English in case of native English-speaking authors, a total of 10 phrases; Times New Roman 10 pts.)

4) Introduction
5) Chapters titled by the author
6) Summing-up
7) Conclusions
8) Literature
9) Biographical note about the author(s)

Literature
Literature references are identified at the end of the article in a sequence as they appear in the text. Bibliographic commentary should be in a uniform version. **Names and titles, written in Cyrillic should appear in the transliteration in accordance with the standard BGN/PCGN.** It is recommended that, in the main, referenced material should be publications, which have been reviewed. In the case of precise quotations in the text against the number of an assigned publication located in the literature index, one should also include the page number, of the quotation source e.g. [12, p. 234]. Polish quotations should be inserted within quotation marks. Quotations in other languages should be written in italics.

Examples of bibliographic references in the literature index (based on the Chicago Citation Style):
Book references
Szczerba K., *Safe Home*, Publisher CNBOP-PIB, Józefów 2012.

Chapter from joint sources
Suchorab P., *The impact of crude oil based products on the physical and mechanical properties of concrete*, in: *Removal of oil derived substances from roads and the soil,* J. Rakowska (ed.), Publisher CNBOP-PIB, Józefów 2012, 37-44.

Journal article
Mizerski A., *Foams as carriers of chemicals for neutralizing contamination*, BiTP Vol. 29 Issue 1, 2013, pp. 87–93.

Article in an online journal
Ciekanowski Z., *Motivation and system of periodic assessment*, BiTP, Vol. 29 Issue 1, 2013, 29-33 [dok. elektr.] http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/31/348 [accessed: May 2 2013].

Material from conferences
Adamiec P., *Problems encountered during welding and repair of machinery*, in: *Machine Technology. Collection of papers: III Professorial Scientific Workshops – TM '97, II Research Work Forum '96 – Shaping of machine parts by the removal of substances*, T. Karpiński (ed.), Publisher Politechnika Koszalińska, Koszalin 1997, 23–31.

Research communications
Centre for Research of Public Opinion, Research communication: Actual problems and incidents, [doc. elektr] http://badanie.cbos.pl/details.asp?q=a1&id=4809, [accessed: 06.05.2013].

Statute, standards and EU Directives
1) Statute dated 24 August 1991 concerning The Polish State Fire Service (Dz. U. [Journal of Laws] 2009 No. 12 item 68)
2) PN-EN 54-4:2001 Fire alarm systems – Part 4: Power supply.
3) Commission Directive 2009/149/WE dated 27 November 2009 concerning directive 2004/49/WE of the European Parliament dealing with community safety indicators and community methods of calculating costs of incidents.

Tables, figures and illustrations
Captions for tables, figures and illustrations as well **as texts in tables, figures and illustrations** should be in the language in which the article was written **and in English**. Tables should be incorporated in the text and, additionally, produced in a separate file and submitted as an enclosure to the article. As a rule, figures should be submitted in a form ready for printing, in separate files (jpg or tiff format – minimum 300 dpi, about 1MB). Diagrams made in Excel (or its analogue) should be sent in .xls format. Articles without graphic elements of appropriate quality will not be printed. Authors shall always indicate sources while presenting tables, figures, diagrams and photographs or inform about own elaboration using caption: "Author's own elaboration".

Abbreviations
At the end to the article the author should draw up the list of abbreviations used in the paper with the information what they stand for.

Author
The authors name should be accompanied by a note reflecting the full name of the institution, and the address for correspondence (e-mail address). Authors are requested to enclose a short biographical note (about 50 words). If an article has more than one author, it is necessary to indicate the percentage contribution of each individual to the creation of the article as well as the scope of authors' contribution **(see Co-authorship)**
Editors are obliged to preserve the confidentiality of personal in- formation about authors and reviewers.

Co-authorship
Co-authorship, as defined by the Polish Ministry of Science and Higher Education in the publication **'Reliability in research and respect for intellectual property rights'** should be understood in the following way:
A co-author is a person who has: written even a small fragment, made a creative contribution to the concept or format, participated in the design of a research project, from which a given piece of work represents the outcome. A co-author is not a person who performs administrative tasks related to a research project (e.g. head of a research establishment, a person raising research funding, a person engaged with data collection or someone performing statistical calculations). The right to co-authorship is not acquired by a consultant who shares his/her knowledge. Accordingly, authors are obliged to identify, in percentage terms, co-author contributions and reveal the actual input of an individual co-author to original scientific papers, i.e. attribution (author of the concept, assumptions, methods). Such information should be included as the Declaration of author's contribution which should send as a form of an attachment with the article.
Declaration of the author's contribution and information of funding source is available at the website: http://czytelnia.cnbop.pl/en/node/6.

Authors are also requested to provide information about funding sources supporting the work described in an article. Responsibility for veracity of the above mentioned information rests with the person submitting the script for publication.

Ghost-writing and guest authorship boundaries
In scientific research articles, ghost-writing and guest authorship is considered a misconduct.

1) *Ghost-writing* occurs when the input to an article is by a person who is not named in the list of authors or excluded from ac- knowledgements.
2) *Guest authorship* describes a situation where an article is created without participation or with a negligible contribution of a person named in the list of authors.In accordance with direc- tions from the Minister of Science and Higher Education, the Editorial Board requires authors to disclose individual contri- butions to articles in percentage terms, by an annotation to the title of an article.

With due regard to the need for integrity of information concerning authors and to avoid situations known as ghost-writing and guest authorship, the BiTP Editorial Board requires authors to disclose honest information about third parties who participate in the creation of submitted articles. Where ghost-writing or guest authorship is identified, the Editorial Board will inform the author's Research Establishment, associations of which the author is a member, other Research Centres and Editorial Boards of different publications about the incident.

Ethics
Material published in BiTP should be original. Articles reproduced previously in other journals and specialist study publications should not be submitted. Falsified data, plagiarism and any other inappropriate act, which could lead to false conclusions, is unethical. More about publication ethics can be found on our webstie: http://czytelnia.cnbop.pl/en/guide_for_authors.

Anti-plagiarism system
The articles sent to the editing office are checked by Internet anti-plagiarism system (Plagiat.pl). If an author sends his/her article to the editing office he or she automatically accepts the fact that the article can be assessed in such a context. All cases of author's unreliability in research will be reported by the editing staff to appropriate administrative authorities.

Copyright
The author of the article sends the Publisher via traditional post a declaration, by means of which he or she transfers his or her all copyright to the Publisher so that the Publisher can make use of the article in any way, including publishing, copying in print and electronic version (including CNBOP-PIB website) and publishing in other integrated scientific resources with the possibility for reading, downloading and copying. The author also confirms that the work has not been published previously and that the article does not infringe other persons' copyright. Declaration of originality and copyright transfer is available at our website: http://czytelnia.cnbop.pl/en/node/6

Open access policy
The Quarterly "Safety & Fire Technique" is published in free and open access, i.e., each user can read, copy, print, spread, cite and search open resources, including full texts of articles, **respecting** the copyright of its authors. A user can take advantage of articles published in the Quarterly in accordance with binding law on permitted use, indicating on the copy of the material information about the source and authors.

Review Procedure
All incoming texts to the Editorial Board undergo the following procedure in accordance with the guidelines set by the Ministry of Science and Higher Education:

1. Initial formal evaluation
Received article is subjected to a formal evaluation by the Editorial Board (compatibility with magazine profile and technical requirements) and then sent to the editor of the thematic section.

2. Qualification by the Editorial Committee
Once the article is accepted by the editor, the editorial department will consult the style with the language editors and the statistics with the statistical editor, if necessary. The article is placed on the waiting list of articles to be published in the Quarterly and is simultaneously discussed by the Editorial Board. Then, once the article is approved, it is sent to the reviewers.

3. Review procedure
The article is sent to two independent reviewers who are experts in the field (with a higher or equal degree as the author), and are not affiliated with the author / authors. **Both the author and the reviewers do not know each other's identities which is in accordance with the principle of double-blind review.** Upon receipt of two reviews, the author is informed of any possible comments and revisions which should be included in the text.

4. The decision to publish the article
If one of the reviewers allowed to print the article and the other rejects it, the Editor, who is in charge of the article and the Editorial Board, based on the observations made in the reviews and the final version of the article, make the decision to send the article to a third reviewer. In a situation where the third reviewer rejects the article, the Editorial Board withdraws the article from the waiting list of articles to be published in the Quarterly and informs the author of the article about the decision.

5. Consultation with the Scientific Committee
Once the review procedure is successfully completed, the title and abstract of the article are consulted with the members of the Scientific Committee of the Quarterly – consultative body of the scientific path of the magazine.

6. Selection of recommended article
Editorial Committee, after taking into account the opinion of the reviewers, selects an article recommended to the readers in a given Quarterly.

We invite Authors, regardless of their affiliation, to submit their papers.

The papers should be sent to:
CNBOP-PIB Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute
Nadwiślańska Street 213
05-420 Józefów near Otwock
Poland
CNBOP-PIB's Quarterly
e-mail: kwartalnik@cnbop.pl

Правила для авторов

Машинопись
Статьи должны быть отправлены в электронном виде в фор- мате Word. Редакция принимает к печати оригинальные научные статьи, предварительные отчёты, обзорные статьи, тематические исследования, а также статьи с практики для практики. Машинопись на польском, английском или русском языке не должна превышать 22 страниц (формат A4, шрифт Times New Roman 12 пунктов, межстрочный интервал 1,5), написан без разделения на столбцы (вместе 40 000 знаков, включая пробелы).

Определения видов статей
А. Оригинальная научная статья - описывает результаты ещё неопубликованных исследований и научных экспериментов автора или непосредственно подчинённой ему исследовательской группы, новые в отношении к существующим знаниям и достижениям в данной области, составляющие оригинальный вклад в мировую науку. Научные публикации обычно являются первичным научным источником.
Б. Предварительный отчёт – описывает предварительные, но на данном этапе обещающие результаты проведённых, но ещё неоконченных научных исследований.
В. Обзорная статья – описывает актуальное состояние знаний в данной тематической области, время от времени при учтении спорных вопросов; в статье находятся теоретическое описание, актуальная и правильно выбранная литература, практический аспект вопроса; автор должен учесть неразрешенные проблемы, касающиеся этого вопроса.
Г. Тематическое исследование – анализ реальных случаев –статья включает описание события или случая (одного или нескольких), интересного с научной или практической точки зрения; анализ этого события, дискуссию, основанную актуальной литературой, а также выводы, вытекающие из проведенного анализа.
Д. С практики для практики – основой этой статьи является опыт связанный с проведенными спасательными операциями или другими практиками, применяемыми в противопожарной охране; выводы из этих практик могут иметь практическое применение в других похожих случаях.

Структурированные аннотации
Статья направленная в редакцию должна содержать двуязычную структурированную аннотацию оформленную согласно одному из нижеприведённых образцов. Статьи без структурированной аннотации содержащей минимум 2400 знаков с пробелами не будут допущены редакционным советом в рецензионный процесс.

1) Структура аннотации оригинальной научной статьи / научного отчёта
• **Цель** – должна ясно представлять гипотезу, поставленную в статье;
• **Проект и методы** – инструменты и методы, использованные в исследованиях;
• **Результаты** – результаты исследований;
• **Выводы** – относительно гипотезы, а также возможные направления будущих исследований.

2) Структура аннотации обзорной статьи / тематического исследования – анализа реальных событий
• **Цель** – главные вопросы заданы в статье;
• **Введение** – контекст / общий план представленного в статье вопроса / проблемы / события;
• **Методология** – инструменты и методы, использованные в исследованиях;
• **Выводы** – главные выводы, вытекающие из обзорного анализа / анализа реальных событий

3. Структура аннотации статьи с практики для практики
• **Цель** – главные вопросы заданы в статье;
• **Введение** – контекст / общий план, представленного в статье вопроса / проблемы;
• **Выводы** – главные выводы, вытекающие из статьи и их значение для данной области
• **Значение для практики** – представление суггестии предлагаемого использования в практике

Если статья не отвечает ни одной из вышеприведённых структур, автор должен применить наиболее похожую структуру. Авторы обязаны передать информацию, какой вид статьи они направляют в редакцию (оригинальная научная статья, предварительный отчёт, обзорная статья, тематическое исследование, статья с практики для практики), а также предварительно определить в который из нижеприведенных разделов редакция должна поместить статью:
1. Авторская глава*
2. Лица пожарной охраны
3. Организация и стратегическое руководство
4. Гуманистические и общественные науки на благо безопасности
5. Партнерство для развития в целях безопасности
6. Исследования и развитие
7. Сертификация, одобрения и рекомендации
8. Техника и технология
9. Обучение и пропагандирование знаний
10. С практики для практики
11. Тематическое исследование – анализ реальных событий
12. Служба спасения и медицина катастроф
** К этому разделу Редакционный Совет пририс*ует особенно интересные статьи

Структура статьи
А. Структура оригинальной научной статьи/предварительного отчёта:
1) Заглавие - на польском или русском языке (Times New Roman 16 пунктов, ЗАГЛАВНЫЕ), **а также на английском языке** (Times New Roman 14 пунктов, строчные)
2) Структурированная аннотация (резюме) – четыре абзаца с заглавиями, записанные жирным шрифтом, около **2500 знаков с пробелами на польском языке либо** русском **языке** и (но мин. 2400 знаков с пробелами) **около 2500 знаков с пробелами на английском языке (но мин. 2400 знаков с пробелами)**; Times New Roman 10 пунктов. (От англоязычных авторов (родным языком которых является английский требуют аннотацию только на английском).
3) Ключевые слова (на польском и английском языках или русском и английском, либо только на английском (в случае англоязычных авторов) в общем до 10 выражений; Times New Roman, 10 пунктов)
4) Введение
5) Методы
6) Результаты

7) Дискуссия над методами и результатами
8) Подведение итогов/Выводы
9) Литература
10) Биографическая справка об авторе/авторах

В. Структура обзорной статьи, тематического исследования и статьи с практики для практики

1) Заглавие – на польском или русском языке (Times New Roman 16 пунктов, ЗАГЛАВНЫЕ), **а также на английском языке** (Times New Roman 14 пунктов, строчные)
2) Структурированная аннотация (резюме) – четыре абзаца с заглавиями, записанные жирным шрифтом, **около 2500 знаков с пробелами на польском языке либо** русском **языке** и (но мин. 2400 знаков с пробелами) **около 2500 знаков с пробелами на английском языке (но мин. 2400 знаков с пробелами)**; Times New Roman 10 пунктов. (От англоязычных авторов (родным языком которых является английский требуют аннотацию только на английском).
3) Ключевые слова (на польском и английском языках или русском и английском, либо только на английском (в случае англоязычных авторов) в общем до 10 выражений; Times New Roman, 10 пунктов)
4) Введение
5) Разделы, озаглавленные автором
6) Подведение итогов
7) Выводы
8) Литература
9) Биографическая справка об авторах

Литература

Литературные ссылки размещаются в конце статьи в порядке их появления в тексте. Библиографические ссылки следует подавать в одиночной версии. **Фамилии и заглавия написанные кириллицей должны быть поданы в транслитерации в соответствии со стандартом BGN/PCGN**. Рекомендуется обратить внимание в первую очередь на рецензированные публикации. В случае подробного цитирования, в тексте около номера приписанного статье, размещенной в списке Литературы, представляется также номер страницы, с которой происходит цитата, – напр. [2, s. 234]. Цитаты в национальном языке автора следует помещать в кавычках, иноязычные цитаты следует писать курсивом.

Примеры создания библиографических ссылок в списке литературы (основаны на системе цитирования Chicago):

Цитирование книг:
Landsberg G.S., *Optika*, Nauka, Moscow 1976.

Раздел групповой работы:
Suchorab P., *Vliyaniye nefteproduktov na fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki betona*, in: *Udaleniye neftyanykh veshchestv s dorog i pochv*, J. Rakowska (ed.), CNBOP-PIB, Józefów 2012, 37–44.

Цитирование журналов:
Neplokhov I.G., *Razvitiye dymovykh pozharnykh izveshchateley*, „Grani bezopasnosti" Issue 5, 2008, pp. 22-25.

Цитирование публикации из цифровых источников:
Ciekanowski Z., Motivatsiya i sistema otsenok, BiTP Vol. 29, Issue 1, 2013, pp. 29-33 [electr. doc.] *http://czytelnia.cnbop.pl/czytelnia/31/348* [accessed: 2.05.2013].

Цитирование послеконференционных материалов:
Adamiec P., *Problemy przy spawaniu i napawaniu części maszyn*, in: T*echnologia maszyn. Zbiór referatów: III Naukowe Warsztaty Profesorskie – TM ,97, II Forum Prac Badawczych, 96 – Kształtowanie części maszyn przez usuwanie materiału,* Karpiński T. (ed.), Politechnika Koszalińska, Koszalin 1997, 23–31.

Цитирование сообщений с исследований:
Tsentr Issledovaniya Obshchestvennogo Mneniya, Soobshcheniye s issledovaniy: Aktual'nyye problemy i sobytiya [electr. doc.] http://badanie.cbos.pl/details.asp?q=a1&id=4809 [accessed: 06.05.2013].

Цитирование законов, стандартов, директив Евросоюза :
1) Zakon ot 24 avgusta 1991 goda o Gosudarstvennoy Protivopozharnoy Sluzhbe (Zakonodatel'nyy vestnik 2009 No. 12, st. 68).
2) PN-EN 54-4:2001 Sistemy pozharnoy signalizatsii – Chast' 4: Pitaniye.
3) Direktiva Komissii 2009/149/EC ot 27 noyabrya 2009 g. kasayushchayasya direktivy 2004/49/ES Evropeyskogo parlamenta i Soveta otnositel'no obshchikh pokazateley bezopasnosti i obshchikh metodov rascheta zatrat avarii.

Таблицы, рисунки, иллюстрации

Подписи к таблицам, рисункам и иллюстрациям, а также содержание в таблицах, рисунках и иллюстрациях должны быть поданы на языке статьи, а также на английском языке. Таблицы следует дополнительно подготовить в отдельном приложении. Рисунки следует присылать в готовой форме к печати в виде отдельных файлов в формате jpg или tiff (мин. 300 dpi, весом около 1Мб).

Диаграммы созданные в программе Excel (или её аналогах) надо передавать в формате .xls (формат программы Excel). Статьи с графическими изображениями плохого качества не будут приняты в печать. На все таблицы, рисунки, диаграммы, фотографии и др. обязательно должны быть ссылки. Изображения разработанные автором обозначаются подписью «Собственная разработка».

Аббревиатуры

В конце статьи следует представить список всех использованных в тексте аббревиатур.

Автор

В сноске к фамилии автора следует подать полное название и адрес учреждения (также электронный), а в случае ведущего автора, также корреспонденционный адрес (адрес е-маил). Авторов просят о привлечении короткой биографической справки (около 50 слов). Если статья имеет больше чем одного автора, следует подать процентное участие отдельных личностей в возникновении статьи и описание способа участия в её подготовке **(смотри Соавторство статьи)** Редакция обязывается к соблюдению конфиденциальности информации, касающейся персональных данных авторов и рецензентов.

Соавторство статьи

Согласно определению о соавторстве, содержащемуся в публикации Министерства Науки и Высшего Образования под заглавием **„Тщательность в научных исследованиях и уважение к правам интеллектуальной собственности**" этот термин следует понимать в следующий способ:

Соавтор это каждый, кто даже написал небольшой фрагмент, внес творческий вклад в концепцию или системы,

принимал участие в проектировании научных исследований, которые являются результатом данной работы. Соавтором не является лицо, которое выполняет административную деятельность, связанную с работой над созданием научного дела (напр. шеф научного учреждения, лицо, добывающее средства на исследования, лицо, собирающее данные или выполняющее статистические расчёты). Права на соавторство также не приобретает консультант, который делится своими знаниями.

В связи с вышеупомянутым Редакция обязывает авторов к подаче в статьях процентного вклада отдельных соавторов в возникновение статьи, то есть так называемой атрибуции (автор концепции, оснований, методов) – эту информацию следует поместить в **Объявлении о соавторстве**, прилагаемым к статьи представленной в редакцию.

Объявление о соавторстве и источниках финансирования находится на интернет-сайте: http://czytelnia.cnbop.pl/ru/node/49.

Редакция обязывает также автора/авторов предоставить ин- формацию об источниках финансирования исследований. Ответственность за подлинность вышеупомянутых данных несет лицо, представляющее статью к печати.

Препятствие ghostwriting и guest autorship
Имея в виду подлинность публикуемых данных об автор- ском вкладе в возникновение статей, которые предъявля- ются к печати, и, чтобы избежать явлений типа ghostwriting и guest autorship, Редакция ежеквартального журнала BiTP
«Безопасность и Пожарная Техника» обязывает авторов к тщательному подходу представления вклада третьих лиц в процессе возникновения статьи.

1) *Ghostwriting* имеет место тогда, когда вклад в возникновение статьи внесло лицо, неупомянутое в списке авторов или в благодарностях.
2) *Guest autorship* происходит тогда, когда статья была напи сана без участия лица, указанного в списке авторов или она сделала незначительный вклад в возникновение данной публикации.
Согласно поставлениям Министерства Науки и Высшего Образования Редакция просит авторов о предъявлении вклада отдельных лиц в создании статьи путём подачи процентного участия в сноске к заглавию статьи.
В случае подтверждения явлений типа ghostwriting или guest autorship Редакция будет информировать об этом научную организацию, трудоустраивающую автора, другие общества, в которых является он членом, другие научные центры и редакции журналов.

Этика
Данные, опубликованные в ежеквартальном журнале «Безопасность и Пожарная Техника», должны быть оригинальны. Не следует посылать текстов, которые были ранее опубликованы в другом журнале или монографии. Предоставление ложных данных, плагиатов и иной деятельности, которая может привести к ложным выводам, являются неэтичными. Больше информации об издательской этике можно найти на интернет-странице: http://czytelnia.cnbop.pl/ru/node/49.

Антиплагиатная система
Статьи поступающие в редакцию подвергаются оценке в анитплагиатной программе, работающей в режиме онлайн (Plagiat.pl). Отправление статей в редакцию означает акцептацию факта, что статья может быть подана такой оценке.
О всех обнаруженных случаях научной нечестности редакция будет информировать соответствующие институциональные органы.

Авторское право
Автор отправляет Издателю по традиционной почте заявление, в котором передает авторские права для CNBOP-PIB и в это время разрешает любое использование, в том числе публикацию и воспроизведение данной статьи в печатной и электронной версиях, в том числе на сайте CNBOP-PIB и других научных электронных ресурсах с возможностей просмотра, скачивания и копирования. Автор удостоверяет, что работа не была опубликована раньше и не нарушает она авторских прав других лиц.

Объявление об оригинальности и передачи авторских прав находится на интернет-сайте: http://czytelnia.cnbop.pl/ru/node/49.

Политика открытый доступ
Ежеквартальник BiTP „Безопасность и Пожарная Техника" публикуется в открытом и бесплатном доступе т.е. каждый пользователь в праве читать, копировать, печатать, распространять, цитировать и пересматривать открытые ресурсы, в том полные тексты статей с сохранением авторских прав их создателей.
Пользователь использует помещенные в Ежеквартальнике статьи согласно действующим правилам допустимого использования, указывая на копии произведения информацию об источнике и авторе/авторах.

Рецензийный процесс
Все поступающие в Редакцию статьи проходят следующую процедуру согласно с указаниями Министерства Науки и Высшего Образования
1. Вступительная формальная оценка
Отправленная статья поддается формальной оценке Редакции (совместимость с профилем журнала и техническими требованиями), а затем направляется к редактору тематического отдела.
2. Квалификация Редакционным Комитетом
По одобрению статьи редактором отдела, Редакция консультирует стилистическую корректность с языковыми редакторами, а также статистические вычисления со статистическим редактором, если существует такая потребность. Статья попадает в список статей ожидающих публикацию в ежеквартальном Журнале, а также на обсуждение Редакционного Комитета и по одобрению направляется к рецензентам.
3. Процесс рецензии
Статья отправляется к двум независимым рецензентам, которые являются специалистами в данной отрасли (больше или ровных научной степенью с автором), и не связаны с автором/авторами. Одинаково автор, как и рецензенты не знают своих тождественности согласно принципу doubleblind review (вдвойне слепая рецензия). После получения Редакцией двух листов рецензии автор информируется о возможных замечаниях и поправках рецензентов, которые должен нанести в тексте.
4. Решение о публикации статьи
Если один из рецензентов допустит текст к печати, а другой отвергнет, редактор отдела, к которому квалифицирована статья, а также Редакция на основании анализа замечаний, составленных в рецензиях и окончательной версии

статьи, принимают решение о её направлении к третьему рецензенту. В ситуации, когда третий рецензент отбросит статью, Редакция изымает текст из списка ожидающих на опубликование в ежеквартальном Журнале и также сообщает о своем решении автора статьи.

5. Консультация с Научным Советом

После успешного завершения процедуры рецензии, заглавие и абстракт статьи консультируется с членами Научного Совета ежеквартальника – консультативным органом научного направления журнала.

6. Выбор номера статьи

Редакционный Комитет, учитывая мнение рецензентов выбирает статью, рекомендованную вниманию Читателей в данном номере ежеквартальника.

Приглашаем Авторов, независимо от принадлежности, представить свои работы.

Статьи следует направлять по адресу:
Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны им. Иосифа Тулишковского – **Государственный Исследовательский Институт**
ул. Надвисьляньска 213
05-420 Юзефув около Отвоцка, Польша
Ежеквартальный журнал CNBOP-PIB
Электронная почта:
kwartalnik@cnbop.pl;
jpinkiewicz@cnbop.pl

BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza

MISJA

Uczestnictwo w procesie poprawy bezpieczeństwa państwa oraz skutecznej walki z zagrożeniami dzięki rozwiązaniom innowacyjnym.

WIZJA

Status cenionego w Polsce oraz na międzynarodowej arenie naukowej czasopisma – agory wymiany informacji w obszarze bezpieczeństwa powszechnego, a w szczególności w zakresie ochrony przeciwpożarowej, ochrony ludności i zarządzania kryzysowego.

PRIORYTETY

1. Wspieranie transferu wiedzy w Polsce i za granicą
2. Promowanie wyników badań oraz przedsięwzięć innowacyjnych
3. Edukacja na rzecz bezpieczeństwa

GDZIE MOŻNA NAS ZNALEŹĆ

Kierując się przedstawioną wizją, redakcja podejmuje działania mające na celu zwiększenie zasięgu czasopisma poprzez udostępnianie materiałów w polskich oraz zagranicznych bazach i bibliotekach. Jesteśmy dostępni w następujących źródłach elektronicznych:

BAZY CZASOPISM NAUKOWYCH:

- EBSCO
- BazTech
- Index Copernicus
- RINC
- J-Gate
- VINITI

PLATFORMY KSIĘGARSKIE I BIBLIOTEKI:

- Centralna Biblioteka Naukowa Narodowej Akademii Nauk Białorusi, Mińsk
- Biblioteka Narodowa Ukrainy im. W.I. Wiernadskiego, Kijów
- Biblioteka Czasopism Elektronicznych (tzw. lista regensburska), Uniwersytet w Regensburgu
- Federacja Bibliotek Cyfrowych
- CEON Biblioteka Nauki
- e-publikacje Nauki Polskiej
- ibuk.pl
- CyberLeninka
- Google Play

Safety & Fire Technique

MISSION

Participation in the process of improving the state security and effective way of combating threats using innovative solutions.

VISION

Status of the scientific journal recognized in Poland and on the international scene – agora for information exchange in the area of public safety, especially in the field of fire protection, civil protection and crisis management.

PRIORITIES

1. Supporting the knowledge transfer in Poland and abroad
2. Promotion of research results and innovative projects
3. Safety Education

WHERE TO FIND US

Following presented vision, the editing staff of the Quarterly takes actions aimed at expanding the magazine's audience. One of the ways to achieve this consists in providing our materials in national and foreign bases and libraries. You can find us in the following e-sources:

JOURNAL DATABASES:

- EBSCO
- BazTech
- Index Copernicus
- RINC
- J-Gate
- VINITI

BOOKSTORE PLATFORMS AND LIBRARIES:

- The Yakub Kolas Central Scientific Library of National Academy of Sciences of Belarus
- Vernadsky National Library of Ukraine
- Electronic Journals Library, University of Regensburg
- CEON The Library of Science
- Digital Libraries Federation
- e-publications of Polish Science
- ibuk.pl
- CyberLeninka
- Google Play

Безопасность и Пожарная Техника

МИССИЯ

Участие в процессе повышения безопасности государства и эффективной борьбы с угрозами благодаря инновационным решениям

ВИДЕНИЕ

Статус уважаемого журнала в Польше, а также на международной научной арене – агоры обмена информации в области общественной безопасности, а именно в сфере противопожарной охраны, охраны населения и кризисного управления.

ПРИОРИТЕТЫ

1. Поддержка трансфера знаний в Польше и за рубежом
2. Содействие результатам исследований и инновационным мероприятиям
3. Образование для безопасности

МЕСТА, ГДЕ МОЖНО НАС НАЙТИ

Руководствуясь представленным видением, редакция проводит деятельность, направленную на расширение круга читателей журнала. Примером таких действий является включение наших материалов в народные и заграничные базы и библиотеки. Журнал можно найти в следующих электронных ресурсах:

БАЗЫ ЖУРНАЛОВ:

- EBSCO
- BazTech
- Index Copernicus
- РИНЦ
- J-Gate
- ВИНИТИ

КНИЖНЫЕ ПЛАТФОРМЫ И БИБЛИОТЕКИ:

- Центральная научная библиотека имени Якуба Коласа Национальной академии наук Беларуси
- Национальная библиотека Украины имени В. И. Вернадского
- Библиотека электронных журналов в г. Регенсбург (Германия)
- Федерация цифровых библиотек
- CEON Библиотека Науки
- Электронные издания Польской науки
- ibuk.pl
- КиберЛенинка
- Google Play

Osiągnięcia Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowego Instytutu Badawczego na targach, wystawach i konkursach krajowych i międzynarodowych w 2015 roku

Achievements of the Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute at fairs, exhibitions, national and international competitions in 2015

Достижения Научно-Исследовательского Центра Противопожарной Охраны им. Иосифа Тулишковского – Государственного Исследовательского Института на международных и национальных выставках, ярмарках и конкурсах в 2015 году

Nagrody dla projektów
Awards for projects
Награждение проектов

„Zintegrowany system budowy planów zarządzania kryzysowego w oparciu o nowoczesne technologie informatyczne", którego wynikiem jest oprogramowanie „RISKO", realizowany w konsorcjum naukowo-przemysłowym w składzie: CNBOP -PIB, AON, SGSP, ZOSP RP, Asseco Poland S.A.

Project "Integrated system of creating emergency management plans based on modern information technologies" run by a scientific and industrial consortium of: CNBOP-PIB, National Defense University – National Safety Department, the Main School of Fire Service, Union of Volunteer Fire Departments of the Republic of Poland, ASSECO Poland S.A.

Проект „Интегрированная система подготовки планов кризисного управления на основе современных информационных технологий", реализован в составе консорциума: CNBOP-PIB, Академия Национальной Обороны, Главная Школа Пожарной Службы, Союз Добровольной Пожарной Службы Республики Польша, Asseco Poland S.A.

Nagroda oraz dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego podczas XXII Giełdy Wynalazków nagrodzonych w 2014 roku na światowych wystawach wynalazczości

Statuette and diploma of the Minister of Science and Higher Education at XXII Fair of Innovations distinguished at international invention fairs in 2014

Статуэтка и диплом Министра науки и высшего образования во время XXII Национальной ярмарки изобретений, награждённых в 2014 году на международных выставках изобретений

* * *

Złoty medal oraz dyplom na Międzynarodowych Targach Innowacji Gospodarczych i Naukowych INTARG 2015

Gold medal and diploma at the International Fair of Economic and Scientific Innovations INTARG 2015

Золотая медаль и диплом на Международной ярмарке экономических и научных инноваций ИНТАРГ 2015

Nagroda specjalna od delegacji Islamskiej Republiki Iranu podczas Międzynarodowych Targów Innowacji Gospodarczych i Naukowych INTARG 2015.

Special award from Delegation of the Islamic Republic of Iran at the International Fair of Economic and Scientific Innovations INTARG 2015

Специальная награда от делегации Исламской Республики Иран во время Международной ярмарки экономических и научных инноваций ИНТАРГ 2015

Nowoczesne ochrony osobiste służb ratowniczych KSRG w oparciu o potrzeby użytkowników końcowych" System Fireguard 2015, realizowany przez konsorcjum w składzie: SGSP, CNBOP-PIB, Instytut Technologii Bezpieczeństwa- MORATEX, Politechnika Łódzka, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, CIOP-PIB, ZOSP RP, ARLEN S.A., TEXA s.c., Kaliskie Zakłady Przemysłu Terenowego Sp. z o.o.

Project "Modern personal protections of rescue services of the National Firefighting and Rescue System on the basis on the end users' needs" – "FIREGUARD" realized in 2012-2015 run by a consortium of: the Main School of Fire Service, CNBOP-PIB, Safety Technology Institute – MORATEX, Łódź University of Technology, Medical University of Lodz, Central Institute for Labour Protection, Union of Volunteer Fire Departments of the Republic of Poland (ZOSP RP), ARLEN S.A., TEXA s.c., Kaliskie Zakłady Przemysłu Terenowego Sp. z o.o.

Проект „Современные средства индивидуальной защиты спасательных служб Национальной Спасательно-гасящей Системы на основе потребностей конечных потребителей" „FIREGUARD" реализован в 2012–2014 гг. консорциумом: Главная Школа Пожарной Службы, CNBOP-PIB, Институт Технологии Безопасности – MORATEX, Лодзинский технический университет, Лодзинский медицинский университет , Союз Добровольной Пожарной Службы Республики Польша – Производитель Пожарной Одежды, ARLEN S.A., TEXA s.c., Завод внедорожной техники в г. Калиш Sp, z.o.o.

Nagroda oraz dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego podczas XXII Giełdy Wynalazków nagrodzonych w 2014 roku na światowych wystawach wynalazczości

Statuette and diploma of the Minister of Science and Higher Education at XXII Fair of Innovations distinguished at international invention fairs in 2014

Статуэтка и диплом Министра науки и высшего образования во время XXII Национальной ярмарки изобретений, награждённых в 2014 году на международных выставках изобретений

„Zaawansowane technologie teleinformatyczne wspomagające projektowanie systemu ratowniczego na poziomach: gmina, powiat, województwo" realizowany przez konsorcjum w składzie: SGSP, Uczelnia Techniczno-Handlowa im. Heleny Chodkowskiej, CNBOP-PIB, ITTI Sp. z o.o., Asseco Poland S.A.

Project „ Advanced IT technologies supporting the process of designing rescue system on the levels of commune, district, province" run by a scientific and industrial consortium of: the Main School of Fire Service (leader), Helena Chodkowska University of Technology and Economics in Warsaw, Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, ITTI Sp. Z o.o., Asseco Poland S.A.

Проект „Передовые теле-информационные технологии, поддерживающие проектировку спасательной системы на уровнях: гмина, повят, воеводство" реализован в научно-промышленном консорциуме: Главная Школа Пожарной Службы, Техническо-Торговая Высшая школа им. Елены Ходковской, CNBOP-PIB, ITTI Sp.z o.o., Asseco Poland S.A.

Nagroda oraz dyplom Ministra Nauki i Szkolnictwa Wyższego podczas XXII Giełdy Wynalazków nagrodzonych w 2014 roku na światowych wystawach wynalazczości

Statuette and diploma of the Minister of Science and Higher Education at XXII Fair of Innovations distinguished at international invention fairs in 2014

Статуэтка и диплом Министра науки и высшего образования во время XXII Национальной выставки – Ярмарки изобретений, награждённых в 2014 году на международных выставках изобретений

„System wsparcia wyrobów i rozwiązań na rzecz ochrony przeciwpożarowej"

„Support system, for acquisition and testing of products and solutions concerned with fire protection"

„Система поддержи приёма и тестирования изделий, а также решений для пожарной охраны"

Nominacja do Godła Promocyjnego „Teraz Polska" w XXV edycji konkursu „Teraz Polska"

Nomination to "Poland Now" emblem at XXV edition of "Poland Now" Competition

Номинация на эмблему „Сейчас Польша" в XXV выпуске „Сейчас Польша"

WYDAWNICTWA CNBOP-PIB
CNBOP-PIB PUBLICATIONS
ПУБЛИКАЦИИ CNBOP-PIB

Złoty medal i dyplom za wysoką jakości naukową i techniczną kwartalnika „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" w VII edycji Europejskich Targów Kreatywności i Wynalazczości „EUROINVENT 2015"

Gold medal and diploma for high scientific and technical value of "Safety & Fire Technique" Quarterly in the seventh edition of the European Exhibition of Creativity and Innovation "EUROINVENT 2015"

Золотая медаль и диплом за высокое научное и техническое качество ежеквартального журнала „Безопасность и Пожарная Техника" в VII выпуске Европейской ярмарки творчества и инноваций „EUROINVENT 2015"

Nagroda Główna – Diamentowa statuetka i certyfikat „Lider Bezpieczeństwa Państwa 2015" za serię publikacji monograficznych z zakresu zarządzania kryzysowego, zarządzania ryzykiem i planowania cywilnego: *Wybrane zagadnienia z zakresu planowania cywilnego w systemie zarządzania kryzysowego RP, Przegląd wybranych dokumentów normatywnych z zakresu zarządzania kryzysowego i zarządzania ryzykiem wraz z leksykonem*, *Zagadnienia ogólne z zakresu zarządzania ryzykiem i zarządzania kryzysowego. Analiza wybranych przepisów*, *Zarządzanie ryzykiem – przegląd wybranych metodyk*, wydanych w ramach projektu „Zintegrowany system budowy planów zarządzania kryzysowego w oparciu o nowoczesne technologie informatyczne"

Main award – diamond statuette and certificate "Leader of National Security 2015" for a series of publications in the field of crisis management, risk management and civil planning: *Selected issues of planning civilian crisis management system RP, review of selected normative documents in the field of crisis management and management risks with the lexicon, General risk management and crisis management. Analysis of selected regulations, risk management-review of selected methodologies,* published within the project "An integrated system of construction of crisis management plans based on modern information technologies"

Главная премия - алмазная статуэтка и сертификат „Лидер национальной безопасности 2015" за серию публикаций в области антикризисного управления и гражданского планирования: Отдельные вопросы гражданского планирования в системе антикризисного управления Республики Польша, Обзор отдельных нормативных документов в области антикризисного управления и управления риском вместе с лексиконом, Общие вопросы управления риском и антикризисного управления. Анализ отдельных нормативных актов, Управление рисками, анализ отдельных методологий, опубликованных в рамках проекта „Интегрированная система подготовки планов кризисного управления на основе современных информационных технологий"

* * *

Nagroda I stopnia i certyfikat „Lider Bezpieczeństwa Państwa 2015" za monografię *Czerwona księga pożarów - wybrane problemy pożarów oraz ich skutków* wydaną w ramach projektu „Opracowanie systemowych rozwiązań wspomagających prowadzenie dochodzeń popożarowych wykorzystujących nowoczesne technologie w tym narzędzia techniczne i informatyczne"

First degree award and a certificate "Leader of National Security 2015" for the monograph *Red Book of fires - selected problems of fires and their consequences* published within the project "Development of system solutions supporting post-fire investigations using modern technologies, including technical tools and information technologies"

Награда первой степени и сертификат „Лидер национальной безопасности 2015" за монографию Красная книга пожаров - избранные проблемы пожаров и их последствий, которая была опубликована в рамках проекта „Развитие системных решений, поддерживающих послепожарные расследования с использованием современных технологий, в том числе технические инструменты и информационные технологии"

Złoty medal – nagroda specjalna i dyplom podczas Międzynarodowych Targów Wynalazków i Technologii INST za publikację *Przegląd wybranych dokumentów normatywnych z zakresu zarządzania kryzysowego i zarządzania ryzykiem wraz z leksykonem* wydaną w ramach projektu „Zintegrowany system budowy planów zarządzania kryzysowego w oparciu o nowoczesne technologie informatyczne"

Gold medal – a special prize and diploma at the International Intellectual Property Network Forum for publishing a monograph entitled *A review of selected normative documents in the field of crisis management and risk management with the lexicon* published within the the project "An integrated system of construction of crisis management plans based on modern information technologies"

Золотая медаль - специальная премия и диплом от International Intellectual Property Network Forum за публикацию Обзор отдельных нормативных документов в области антикризисного управления и управления риском вместе с лексиконом, опубликованную в рамках проекта „Интегрированная система подготовки планов кризисного управления на основе современных информационных технологий"

* * *

Srebrny medal i dyplom za monografię *Zarządzanie ryzykiem - przegląd wybranych metodyk*" wydanej w ramach projektu „Zintegrowany system budowy planów zarządzania kryzysowego w oparciu o nowoczesne technologie informatyczne" podczas 64. Targ**ów** Wynalazczości, Badań Naukowych i Nowych Technologii „BRUSSELS INNOVA 2015"

Silver medal and a diploma at the 64th Exhibition of Innovation, Research and New Technologies "BRUSSELS INNOVA 2015 for the monograph entitled *Risk Management - review of selected methodologies* published within the project "An integrated system of construction of crisis management plans based on modern information technologies"

Серебренная медаль и диплом во время 64 Ярмарки изобретений, научных исследований и новых технологий „BRUSSELS INNOVA 2015" за монографию Управление рисками, анализ отдельных методологий, опубликованной в рамках проекта „Интегрированная система подготовки планов кризисного управления на основе современных информационных технологий"

CAŁOKSZTAŁT DZIAŁALNOŚCI
OVERALL ACITVITY
ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Nagroda LIDER INNOWACJI 2015 za innowacyjną działalność wydawniczą, naukowo-badawczą i wdrożeniową o dużym znaczeniu społecznym na potrzeby doskonalenia ochrony ludności, ochrony przeciwpożarowej i ratownictwa

Award LEADER OF INNOVATION 2015 for innovative publishing, research and development and implementation activities of high public interest for the purpose of improvement of civil protection, fire protection and rescue

ЛИДЕР ИННОВАЦИЙ 2015 за инновационную издательскую, научно-исследовательскую деятельность и за внедрение, увеличение имеющее больше общественного значения, намеренное на совершенствование гражданской защиты, противопожарной защиты и спасения

* * *

Wyróżnienie „Firma VIP-a 2015" przyznane dla CNBOP-PIB za działalność na rzecz zapewnienia bezpieczeństwa powszechnego państwa w zakresie ochrony przeciwpożarowej, zarządzania kryzysowego, ochrony ludności i obrony cywilnej

Award "Company VIP 2015" for the activities aimed at ensuring public safety in the field of fire protection, crisis management, civil protection and civil defense

Отличительный приз „Компания VIP 2015" за деятельность по обеспечению общественной безопасности государства в области противопожарной защиты, антикризисного управления, защиты населения и гражданской обороны

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej *im. Józefa Tuliszkowskiego* Państwowy Instytut Badawczy

Najważniejsze wydarzenia

1972

Utworzenie Ośrodka Badawczo-Rozwojowego Ochrony Przeciwpożarowej (OBROP) w Józefowie-Dębince na podstawie zarządzenia Nr 81 Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 14 sierpnia 1972 r. (Dz. Urz. MSW Nr 7, poz. 24).

1974

Ustanowienie OBROP jako ośrodka normalizacyjnego w resorcie spraw wewnętrznych na podstawie zarządzenia Nr 66/67 Ministra Spraw Wewnętrznych.

1984

Przekształcenie OBROP w Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej (CNBOP), na podstawie zarządzenia Nr 9/84 Ministra Spraw Wewnętrznych z dnia 28 stycznia 1984 r. (Dz. ZiR KG SP Nr 1–2, poz. 3).

1992

Włączenie CNBOP w poczet jednostek organizacyjnych Państwowej Straży Pożarnej w rozumieniu ustawy z dnia 24 sierpnia 1991 r. o Państwowej Straży Pożarnej.

1996

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji przez:
Laboratorium Badań Właściwości Pożarowych Materiałów, numer certyfikatu L 60/1/96 (następnie Zakład Laboratorium Badań Właściwości Pożarowych Materiałów, certyfikat akredytacji Nr **AB 060** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji), **Laboratorium Pomp i Armatury Wodno-Pianowej**, numer certyfikatu L 59/1/96 (następnie Zakład Laboratorium Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej, certyfikat akredytacji Nr **AB 059** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji).

1997

Nadanie CNBOP imienia Józefa Tuliszkowskiego na podstawie zarządzenia Nr 4 Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 23 stycznia 1997 r. (Dz. Urz. MSWiA Nr 2. poz. 22).

1998

Utworzenie w CNBOP **Jednostki Certyfikującej** w celu prowadzenia oceny zgodności wyrobów wprowadzanych do obrotu i stosowanych w ochronie przeciwpożarowej.

1999

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji przez **Jednostkę Certyfikującą**, numer certyfikatu 63/Cw-69/99 (obecnie **certyfikat akredytacji Nr AC 063** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji).

2001

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Badań i Certyfikacji przez kolejne 3 laboratoria badawcze:
Zakład-Laboratorium Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpożarowych otrzymuje certyfikat akredytacji Nr L 305/1/2000 (następnie certyfikat akredytacji Nr **AB 305** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji),
Laboratorium Środków Gaśniczych i Sprzętu Podręcznego, Nr certyfikatu L 306/1/2000 (następnie Zakład-Laboratorium Technicznych Zabezpieczeń Przeciwpożarowych, certyfikat akredytacji Nr AB 305 wydany przez Polskie Centrum Akredytacji),
Laboratorium Pojazdów i Wyposażenia otrzymuje certyfikat akredytacji Nr L 307/1/2000 (następnie Zakład-Laboratorium Technicznego Wyposażenia Straży Pożarnej, certyfikat akredytacji Nr **AB 059; AB060** wydany przez Polskie Centrum Akredytacji).

2003

Przekształcenie CNBOP z państwowej jednostki budżetowej w **jednostkę badawczo-rozwojową**, w rozumieniu ustawy z dnia 25 lipca 1985 r. o jednostkach badawczo-rozwojowych. Wpisanie CNBOP do Krajowego Rejestru Sądowego. Uzyskanie przez CNBOP **autoryzacji Ministra Gospodarki, Pracy i Polityki Społecznej** w zakresie dyrektywy 89/686/EWG z dnia 21 grudnia 1989 r. w sprawie ujednolicenia przepisów prawnych Państw Członkowskich dotyczących środków ochrony indywidualnej.

2004

Uzyskanie przez CNBOP **autoryzacji Ministra Infrastruktury** w zakresie dyrektywy 89/106/EWG z dnia 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych.

Uzyskanie przez CNBOP **notyfikacji Komisji Europejskiej (numer identyfikacji 1438)** w zakresie dyrektyw: 89/686/EWG z dnia 21 grudnia 1989 r. w sprawie ujednolicenia przepisów prawnych Państw Członkowskich dotyczących środków ochrony indywidualnej, 89/106/EWG z dnia 21 grudnia 1988 r. w sprawie zbliżenia ustaw i aktów wykonawczych Państw Członkowskich dotyczących wyrobów budowlanych.

Utworzenie **Zakładu Aprobat Technicznych**, realizującego zadania CNBOP w zakresie regulacji rozporządzenia Ministra Infrastruktury z dnia 8 listopada 2004 r. w prawie aprobat technicznych oraz jednostek organizacyjnych upoważnionych do ich wydawania (Dz. U. Nr 249, poz. 2497).

Rozpoczęcie przez CNBOP prowadzenia oceny zgodności wyrobów budowlanych – w europejskim systemie oceny zgodności – oznakowanie CE, i w krajowym systemie oceny zgodności – znak budowlany B.

2010

Nadanie przez Radę Ministrów Centrum Naukowo-Badawczemu Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie **statusu państwowego instytutu badawczego** (Dz. U. Nr 181, poz. 1219), a tym samym wejście CNBOP do prestiżowego grona kilkunastu państwowych instytutów badawczych.

2011

Uzyskanie akredytacji Polskiego Centrum Akredytacji przez **Zespół Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości**, certyfikat akredytacji **Nr AB 1280**.

2013

Utrzymanie kategorii B w ocenie parametrycznej Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego. Objęcie 4 pozycji w grupie wspólnej oceny.

2014

22 grudnia 2014 roku Komenda Główna Obrony Cywilnej Ministerstwa Spraw Wewnętrznych Zjednoczonych Emiratów Arabskich (ang. *General Headquarters of Civil Defence, Ministry of Interior UAE*) uznała działalność Jednostki Certyfikującej i Laboratorium badawczego BA CNBOP-PIB w zakresie urządzeń sygnalizacji alarmu pożaru i automatyki pożarniczej. W związku z tym faktem, CNBOP-PIB może wydawać certyfikaty zgodności, które są uznawane na rynku ZEA, w oparciu o posiadane przez Klientów i wydane przez CNBOP-PIB certyfikaty stałości właściwości użytkowych (CPR).
2016

2016

Uzyskanie przez CNBOP-PIB certyfikatu potwierdzającego, że system zarządzania jakością Instytutu jest zgodny z normą ISO 9001:2008.

The Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute

Major events

1972

Establishment of the Research and Development Centre for Fire Protection (OBROP) in Józefów-Dębnice on the basis of Regulation No. 81 of 14 August 1972 issued by the Ministry of International Affairs (Dz. Urz. [Official Journal of the Ministry of Foreign Affairs] No. 7, item 24).

1974

Granting OBROP the standardization centre status in the Home Affairs Department on the basis of Regulation No. 66/67 of the Minister of Home Affairs.

1984

The transformation of OBROP into the Scientific and Research Centre for Fire Protection (CNBOP) on the basis of Regulation No. 9/84 of the Minister of Home Affairs of 28 January 1984 (Dz. ZiR KG SP [Official Journal of the National Headquarters of the State Fire Service of Poland No. 1–2, item 3).

1992

Inclusion of CNBOP into State Fire Service organizational units in reference to the State Fire Service Act of 24 August 1991.

1996

The following departments obtained Accreditation of the Polish Centre for Testing and Accreditation:
Laboratory for Testing Fire Properties of Materials, Accreditation Certificate number L 60/1/96 (then called Department – Laboratory for Testing Fire Properties of Materials; Accreditation Certificate No. AB 060 issued by the Polish Centre for Accreditation),
Laboratory of Pumps and Water-foam fittings, Accreditation Certificate No. L 59/1/96 (then called Department – Laboratory of Technical Equipment for Fire Service and Technical Fire Protection, Accreditation Certificate No. AB 059 issued by the Polish Centre for Accreditation).

1997

CNBOP was named after Józef Tuliszkowski under Regulation No. 4 of the Minster of Interior and Administration of 23 January 1997 (Dz. Urz. MSWiA [Official Journal of the Ministry of Interior and Administration] No. 2, item 22).

1998

Establishment of **CNBOP Certification Department** aimed at assessment of the compliance of marketed products used in fire protection.

1999

CNBOP Certification Department obtained accreditation of the Polish Centre for Testing and Accreditation No. 62/Cw-69/99 (currently **Accreditation Certificate No. AC 063** issued by the Polish Centre for Accreditation).

2001

Another three laboratories obtained accreditation of the Polish Centre for Testing and Accreditation:

Department – Laboratory of Technical Fire Protection was granted Accreditation Certificate No. L: 305/1/2000 (then accreditation certificate **No. AB 305** issued by the Polish Centre for Accreditation);
Laboratory of Extinguishing Media and Portable Equipment, certificate No. L 306/1/200 (then Department-Laboratory of Technical Fire Protection, accreditation certificate No. **AB 305** issued by the Polish Centre for Accreditation);
Laboratory of Vehicles and Equipment was granted accreditation certificate No. 307/1/2000 (then Department-Laboratory of Technical Equipment of Fire Service, accreditation certificate No. **AB 059; AB060** issued by the Polish Centre for Accreditation).

2003

Transformation of CNBOP from a state administrative entity into a **research and development entity** understood in accordance with the Act of 25 July 1985 on Research and Development Entities. CNBOP entered into the National Court Register and obtained **authorization of the Ministry of Labour and Social Policy** within the scope of Council Directive 89/686/EEC of 21 December 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to personal protective equipment.

2004

CNBOP obtained authorization of **the Minister of Infrastructure** within the scope of Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products.

CNBOP obtained **notification of the European Commission (notification No. 1438)** within the scope of Council Directive 89/686/ EEC of 21 December 1989 on the approximation of the laws of the Member States relating to personal protective equipment, and Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Mem- ber States relating to construction products.

Establishment of **Technical Approval Department**, aimed at realizing the tasks of CNBOP within the scope of the control of Regu- lation of the Minister of Infrastructure of 8 November 2004 on technical approvals and organizational units entitled to issue them (Dz. U. [Journal of Laws] No. 249, item 2497).

CNBOP started carrying out conformity assessment of construction products – in the European conformity assessment system – the CE marking, and in the national conformity assessment system – B construction mark.

2010

Scientific and Research Centre for Fire Protection (CNBOP) was granted by the Council of Ministers of the Republic of Poland the status of a National Research Institute (Dz. U [Journal of Laws], No. 181, item 1219) thus joining the elite group of few national research institutes in Poland.

2011

CNBOP-PIB Combustion Processes and Explosion Laboratories were granted accreditation by the Polish Centre for Accreditation, Accreditation Certificate No. **AB 1280**.

2013

CNBOP-PIB maintained B category in the parametric assessment carried by the Ministry of Science and Higher Education of Poland. CNBOP-PIB was classified on the fourth position within the common assessment group.

2014

On the 22th of December 2014 the General Headquarters of Civil Defence, Ministry of Interior of the United Arab Emirates recognized CNBOP-PIB Certification Department and BA Research Laboratory activities in the scope of fire alarm equipment. Consequently, CNBOP-PIB can issue certificates of conformity, which are respected in the UAE market, based on constancy of performance certificates (CPR) held by the Clients and issued by CNBOP-PIB.

2016

CNBOP-PIB was granted a certificate confirming that the quality management system of the Institute is in compliance with ISO 9001: 2008.

Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны им. Иосифа Тулишковскего – Государственный Исследовательский Институт

Самые важные события

1972

Образование Исследовательно-экспериментальной организации противопожарной охраны (OBROP) в городе Юзефов-Дембнице на основе распоряжения № 81 Министра внутренних дел от 14 августа 1972 года (официальный журнал МВД Польши № 7, поз. 24).

1974

OBROP установлен центром стандартизации в ведомстве внутренних дел на основе распоряжения № 66/67 Министра внутренних дел Польши.

1984

Преобразование OBROP в Научно-Исследовательский Центр Противопожарной Охраны (CNBOP), na основе распоряжения № 9/84 Министра Внутренних Дел от 28 января 1984.

1992

Включение CNBOP в группу организационных единиц Государственной пожарной службы в понятии закона от 24 августа 1991 о Государственной пожарной службе.

1996

Получение аккредитации Польского центра исследований и сертификации:
Лабораторией исследований пожароопасных свойств материалов, номер сертификата L/60/1/96 (позже Отдел Лаборатория исследований пожароопасных свойств материалов, сертификат аккредитации № AB 060 выдан Польским Центром Аккредитации),
Лабораторией насосов и водно-пенной арматуры, номер сертификата L59/1/96 (позже: Отдел Лаборатория технического оборудования Пожарной службы, сертификат аккредитации № AB 059 выдан Польским Центром Аккредитации.

1997

CNBOP назван в честь Иосифа Тулишковского на основе распоряжения № 4 Министра внутренних дел и администрации от 23 января 1997 года (Официальный журнал Министерства внутренних дел и администрации № 2 поз. 22).

1998

Образование в CNBOP сертификационного отдела с целью проведения оценки соответствия изделий, выпускаемых на рынок и используемых в противопожарной охране.

1999

Получение аккредитации Польского центра исследований и сертификации Сертификационным департаментом, номер сертификата 63/Cw-69/99 (теперь сертификат аккредитации № AC 063 выдан Польским Центром Аккредитации).

2001

Получение аккредитации Польского центра исследований и сертификации тремя следующими исследователь-скими лабораториями:
Отдел лабораотрия технической противопожарной защиты получил сертификат аккредитации № L 305/1/2000 (позже сертификат аккредитации № **AB 305** выдан Польским Центром Аккредитации),
Лаборатория огнетушительных средств и подручного оборудования, № L 306/1/2000 (позже Отдел лабораотрия технической противопожарной защиты, сертификат аккредитации № **AB 305** выдан Польским Центром Аккредитации),
Лаборатория автомобилей и оборудования получила сертификат аккредитации № L307/1/2000 (позже Отдел лабораотрия технического оборудования противопожарной службы, сертификат аккредитации № **AB 059; AB060** выдан Польским Центром Аккредитации).

2003

Преобразование CNBOP из государственного бюджетного учреждения в **исследовательно-экспериментальное учреждение** соответственно Закона от 25 июля 1985 года о исследовательно-развивательных учреждениях. Вклю-чение CNBOP в Государственный судебный реестр (KRS). CNBOP получил **авторизацию Министра экономики**, труда и социальной политики в области директивы 89/686/EWG от 21 декабря 1989 года по унифицированию правовых норм Стран-Членов ЕС, касающихся средств индивидуальной защиты.

2004

Получение Центром (CNBOP) авторизации **Министра инфраструктуры** в области директивы 89/106/EWG от 21 декабря 1988 года по сближению законов и исполнительных актов Стран-Членов, касающихся строительных изделий.

CNBOP получил нотификацию **Европейской комиссии (номер идентификации 1438)** в области директив: 89/686/EWG от 21 декабря 1989 года по унифицированию правовых норм Стран-Членов ЕС, касающихся средств индивидуальной защиты, 89/106/EWG от 21 декабря 1988 года по сближению законов и исполнительных актов Стран-Членов, касающихся строительных изделий.

Образование **Департамента технических одобрений**, выполнаяющего задачи CNBOP в области регулирова-ния распоряжения Министра инфраструктуры от 8 ноября 2004 года относительно технических одобрений и организационных единиц уполно- моченных к их выдаче (Дневник законов № 249, поз. 2497).

CNBOP начал проводить оценку соответствия строительных изделий – в европейской системе оценки соответ-ствия – маркировка CE, и в национальной систем оценки соответствия – строительная маркировка B.

2010

Совет министров дал Научно-Исследовательскому Центру Противопожарной Охраны им. Иосифа Тулишковс-кего **статус государственного исследовательского института** (Дневник законов № 181, поз. 1291). Одновременно CNBOP-PIB вошёл в небольшую престижную группу государственных исследовательских институтов.

2011

Получение аккредитации Польского центра аккредитации **Отделом Лабораторией процессов горения и взрывчатости**, сертификат аккредитации № **AB 1280**.

2013

CNBOP-PIB сохранил категорию B в параметрической оценке, проведённой Министерством Науки и Высшего Образования Польши. Институт находится на четвёртом месте в группе общей оценки.

2014

22 декабря 2014 г. Главная Комендатура Гражданской Защиты МВД Объединённых Арабских Эмират (ang. *General Headquarters of Civil Defence, Ministry of Interior UAE*) признала деятельность Сертификационного Департамента и Исследовательской Лаборатории BA CNBOP-PIB в сфере устройств сигнализации пожара и пожарной автоматики. В связи с этим фактом CNBOP-PIB может выдавать сертификаты соответствия, которые признаются на рынке Объединённых Арабских Эмират, на основе полученных клиентами выдаваемых CNBOP-PIB сертификатов постоянства эксплуатационных характеристик (CPR).

2016

CNBOP-PIB получил сертификат, подтверждающий, что система менеджмента качества института соответствует нормам ISO 9001:2008.

POBIERZ Z Google Play

Zeskanuj kod i wejdź na naszą stronę

bitp.cnbop.pl