ISSN 1895-8443
Vol. 44 Issue 4
December 2016

CNBOP-PIB

BiTP

Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza
Safety & Fire Technique

Wydawnictwo CNBOP-PIB

Vol. 44 Issue 4, 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. 44 Issue 4, 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. w st. spocz. 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. 44 Issue 4, 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
st. bryg. w st. spocz. Eugeniusz W. Roguski, PhD/старший бригадир в отставке 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. w st. spocz. Janusz Skulich/надбригадир в отставке 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
st. bryg. w st. spocz. Jan Kielin, M.Eng. / старший бригадир в отставке 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

NAUKI HUMANISTYCZNE I SPOŁECZNE NA RZECZ BEZPIECZEŃSTWA

Przedsiębiorczość akademicka na przykładzie Uniwersytetu Harvarda. Transfer doświadczeń dla kreowania bezpieczeństwa **15**
Małgorzata Gawlik-Kobylińska

ORGANIZACJA I ZARZĄDZANIE STRATEGICZNE

Znaczenie cech menedżera projektu i członków zespołu projektowego **23**
Jarosław Prońko, Beata Wojtasiak

BADANIA I ROZWÓJ

Wybuchy zbiorników z gazami technicznymi – realne zagrożenie czy przejaskrawiony strach? **31**
Robert Mazur, Rafał Porowski, Wojciech Klapsa

Odbudowa stalowych hal przemysłowych uszkodzonych w przebytym pożarze **51**
Marian Gwóźdź, Piotr Woźniczka, Anna Tkaczyk

Wpływ rodzaju drewna na czas działania liniowych czujek dymu **67**
Rafał Porowski, Norbert Janik, Tomasz Wdowiak, Waldemar Wnęk

Wspólne podejście do rozwiązywania zagadnień wymiany masy i gazów zachodzącej podczas pożarów w różnych obiektach **83**
P.S. Pashkovskiy, S.P. Grekov, I.N. Zinchenko

Uniwersalny kompleksowy wskaźnik zagrożenia pożarem endogenicznym **89**
S.P. Grekov, P.S. Pashkovskiy, A.A. Vsyakiy

Programowanie liniowe jako technika obliczeniowa użyteczna w szacowaniu odporności ogniowej stalowej ramowej konstrukcji nośnej **99**
Mariusz Maślak, Anna Tkaczyk

Miarodajna gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej – wartość nominalna z pojedynczej inwentaryzacji czy raczej statystycznie uzasadniona wartość charakterystyczna **121**
Mariusz Maślak

Metodyka opracowania modelu matematycznego składnika energetycznego procesów chemiczno-fizycznych, które zachodzą w drewnie podczas jego nagrzewania do momentu nastąpienia spalania płomieniowego **131**
S.N. Chumachenko, S.V. Zhartovskyi, A.N. Titenko

Specyfika flegmatyzacji mieszanki powietrza z heptanem przy pomocy mieszaniny binarnej aerozolu z azotem **139**
V.M. Balanyuk

Radioaktywność materiałów budowlanych w Polsce **151**
Barbara Piotrowska, Marian Fujak, Krzysztof Isajenko, Sylwia Krawczyńska

Wymagania, metody badań i kryteria oceny właściwości sygnalizatorów optycznych (VAD). Metoda pomiaru rozsyłu światła **159**
Jarosław Borysewicz, Paweł Stępień, Łukasz Chołuj

INŻYNIERIA POŻAROWA

Analiza wpływu gęstości rozmieszczenia wyjść ewakuacyjnych na bezpieczeństwo ludzi podczas pożar w tunelach drogowych z systemem wentylacji wzdłużnej **165**
Natalia Schmidt-Polończyk

Recenzenci 2016 **177**

Patronaty BiTP **179**

Wytyczne dla Autorów **181**

Nagrody CNBOP-PIB **194**

Najważniejsze wydarzenia **200**

TABLE OF CONTENT
СОДЕРЖАНИЕ

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

Academic Entrepreneurship Based on the Activities of Harvard University. Technology Transfer for the Security Discipline
Академическое предпринимательство на примере Гарвардского университета. Передача опыта для создания безопасности 15
Małgorzata Gawlik-Kobylińska

ORGANIZATION AND STRATEGIC MANAGEMENT
ОРГАНИЗАЦИЯ И СТРАТЕГИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО

The Significance of Project Manager's Attributes and Those for Members of a Project Team
Значение характера менеджера проекта и членов проектной группы 23
Jarosław Prońko, Beata Wojtasiak

RESEARCH AND DEVELOPMENT
ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ

Tank Explosions Involving Industrial Gases – a Real Threat or an Exaggerated Fear?
Взрывы резервуаров с техническими газами – реальная угроза или преувеличение? 31
Robert Mazur, Rafał Porowski, Wojciech Klapsa

The Reconstruction of Fire-Damaged Industrial Steel Halls
Восстановление стальных конструкций промышленных цехов, поврежденных во время пожара 51
Marian Gwóźdź, Piotr Woźniczka, Anna Tkaczyk

The Influence of Wood Type on the Response Time of Optical Beam Smoke Detectors
Влияние типа древесины на время срабатывания линейных дымовых пожарных извещателей 67
Rafał Porowski, Norbert Janik, Tomasz Wdowiak, Waldemar Wnęk

Единый подход к решению задач теплогазообмена при пожарах на различных объектах
Combined Approach to Solving Issues of Heat and Gas Exchange Caused by Fires in Different Locations 83
P.S. Pashkovskiy, S.P. Grekov, I.N. Zinchenko

Универсальный комплексный показатель эндогенной пожароопасности
Universal Index of Endogenous Fire Hazards 89
S.P. Grekov, P.S. Pashkovskiy, A.A. Vsyakiy

Linear Programming as a Computational Procedure Useful in the Fire Resistance Evaluation of a Steel Loadbearing Frame Structure
Использование линейного программирования как метода расчёта огнестойкости стальной рамной несущей конструкции 99
Mariusz Maślak, Anna Tkaczyk

Authoritative Fire Load Density Value at a Building Compartment – Nominal Value Taken From a Single Inventory or, Alternatively, a Characteristic Value Statistically Deduced
Достоверное значение плотности пожарной нагрузки в пожарной зоне – номинальное значение с одиночной инвентаризации или скорее статистически обоснованное характеристическое значение 121
Mariusz Maślak

Методика создания математической модели энергетической составляющей химико-физических процессов, которые происходят в древесине при ее нагревании до начала фазы пламенного горения
Methods of Creating a Mathematical Model of an Energy Component of Chemical and Physical Processes that Occur in Wood When It Is Heated Prior To the Flaming Phase 131
S.N. Chumachenko, S.V. Zhartovskyi, A.N. Titenko

Особенности флегматизирования гептановоздушной среды бинарной смесью аэрозоля с азотом
Specific Nature of Phlegmatizing Air-Heptan Mixture using Aerosol and Nitrogen Binary Mixture 139
V.M. Balanyuk

Building Materials Radioactivity in Poland
Радиоактивность строительных материалов в Польше 151
Barbara Piotrowska, Marian Fujak, Krzysztof Isajenko, Sylwia Krawczyńska

Requirements, Test Methods and Criteria For Assessing Optical Signaling Devices (VAD). The Method of Measuring Light Distribution
Требования, методы исследований и критерии оценки эффективности работы оптических пожарных оповещателей. Метод измерения распределения света 159
Jarosław Borysewicz, Paweł Stępień, Łukasz Chołuj

FIRE ENGINEERING
ПОЖАРНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

An Analysis of the Location of Emergency Exits as a Factor Impacting on Human Safety under Fire Conditions in Road Tunnels with the Longitudinal Ventilation System
Анализ влияния частоты размещения аварийных выходов на безопасность людей во время пожара в дорожных туннелях с продольной системой вентиляции **165**
Natalia Schmidt-Polończyk

Reviewers 2016
Рецензенты 2016 **177**

BiTP's Patronage
Под патронатом BiTP **179**

Guide for authors
Правила для авторов **181**

CNBOP-PIB Achievements
Достижения CNBOP–PIB **194**

Major events
Самые важные события **200**

CNBOP-PIB, grudzień 2016

Szanowni Czytelnicy,

Przekazujemy Państwu kolejny, 44 numer kwartalnika „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza", który zamyka 11 rok wydawania naszego czasopisma.

Od roku 2006 w kwartalniku nastąpiło bardzo wiele zmian, nie tylko pod względem wizualnym, ale również pod względem publikowanej zawartości. W czasopiśmie z każdym rokiem pojawia się coraz więcej artykułów specjalistów z różnych stron Polski i z zagranicy. W 2009 roku kwartalnik został włączony do wykazu czasopism punktowanych na liście B uzyskując 4 punkty. Na przestrzeni lat doskonaliliśmy m.in. procedury kwalifikacji oraz recenzji artykułów oraz standardy wydawnicze, tak aby nasze wydawnictwo prezentowało wysoką wartość merytoryczną i zyskało uznanie wśród naukowców. Stałe podnoszenie jakości i rozszerzenie współpracy z autorami z kraju i zagranicy, już w 2015 roku zaowocowało uzyskaniem 13 na 15 możliwych punktów w ocenie Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Przez okres 11 lat BiTP stał się tytułem rozpoznawanym w środowisku naukowym. Nie byłoby to możliwe bez ogromnego wsparcia wszystkich współpracujących z nami naukowców, pełniących funkcje redaktorów tematycznych i redaktorów naukowych.

W bieżącym wydaniu znajduje się 14 artykułów. Wśród nich znajdą Państwo 5 artykułów opublikowanych w wersji dwujęzycznej – polsko-angielskiej. Są to najwyżej ocenione przez redaktorów i recenzentów prace, których tłumaczenie zostało sfinansowane przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego.

Spośród wszystkich prac szczególnej uwadze chcielibyśmy polecić Państwu artykuł pt. *Programowanie liniowe jako technika obliczeniowa użyteczna w szacowaniu odporności ogniowej stalowej ramowej konstrukcji nośnej*. Praca ukazuje sposób szacowania odporności ogniowej stalowego ramowego ustroju nośnego oparty na zastosowaniu metodyki programowania liniowego. W artykule przedstawiono szereg informacji z zakresu obliczeń odporności ogniowej dla całej ramy poprzez obliczenie temperatury krytycznej wyznaczonej poprzez osiągnięcie przez badany ustrój stanu granicznego nośności ogniowej. Treści zawarte w artykule są istotne z punktu szeroko pojętej ochrony ppoż. i mechaniki konstrukcji. Artykuł prezentuje nowe podejście, które może być wykorzystane do opracowania sposobów szacowania odporności ogniowej elementów budowlanych.

Bardzo interesującym artykułem jest praca zespołu autorskiego z Ukrainy pt. *Uniwersalny kompleksowy wskaźnik zagrożenia pożarem endogenicznym*. Praca wnosi istotną wartość do praktyki. Przedstawia kompleksowy wskaźnik zagrożenia pożarem endogenicznym materiału organicznego, który pozwala na podstawie analizy jego właściwości cieplno-fizycznych i warunków wymiany ciepła ze środowiskiem zewnętrznym określić główne charakterystyki samozapłonu.

Tradycyjnie nasze wydawnictwo co roku udziela patronatu interesującym i ważnym wydarzeniom naukowym. Już teraz chcielibyśmy zaprosić Państwa na nadchodzące w 2017 roku przedsięwzięcie, jakim jest II Konferencja „BPH. To się opłaca", poświęcona problemom bezpieczeństwa w budownictwie. Wydarzenie odbędzie się w dniach 1-2 kwietnia w Bydgoszczy.

Zapraszamy Państwa do zapoznania się ze wszystkimi artykułami opublikowanymi w numerze. Mamy nadzieję, że okażą się dla Państwa interesujące i będą stanowiły inspirację do zgłaszania własnych wyników prac i badań na łamy naszego czasopisma.

Komitet Redakcyjny

CNBOP-PIB, December 2016

Dear Readers,

We present to you another, 44th issue of "Safety & Fire Technique", which closes the 11th year of its publication.

Since 2006, many changes have taken place in the quarterly, not only visual ones, but also in terms of the published content. Every year more and more articles appear in the journal written by specialists from different parts of Poland and from abroad. In 2009, the quarterly was included on the B list of recognized journals obtaining 4 points. Over the years, we perfected, among others, the qualification and review procedures of articles, as well as editorial standards, so that our publishing house could present high content value and gain recognition among scientists. Continuous improvement of quality and expansion of cooperation with authors from Poland and from abroad, resulted in 2015 in obtaining 13 out of 15 possible points when evaluated by the Ministry of Science and Higher Education.

Over 11 years BiTP became a title recognized in the scientific community. This would not be possible without the strong support of all our partner scientists, serving as thematic editors and scientific editors.

There are 14 articles in the current edition. Among them you will find 5 articles published in a bilingual format – Polish and English. These are articles rated the highest by the editors and reviewers, the translation of which was financed by the Ministry of Science and Higher Education.

Of all the articles, we specially recommend you an article called: *Linear Programming as a Computational Procedure Useful in the Fire Resistance Evaluation of a Steel Loadbearing Frame Structure*. The work presents a method of estimating fire resistance of a steel frame superstructure based on the methodology of linear programming. The article shows a range of information related to the calculation of fire resistance for the entire frame by calculating the critical temperature determined by the tested boarderline state of fire resistance. The contents of the article are essential from a point of view of widely understood fire protection and structure mechanics. The article presents a new approach that can be used to develop methods of estimating fire resistance of structural elements.

Also very interesting is an article of a team of authors from Ukraine called *Universal Index of Endogenous Fire Hazards*. The article is a significant asset to practical work. It presents a complex hazards index of endogenous fire of organic material, which allows based on the analysis of its thermo-physical properties and heat exchange with the external environment to determine the main characteristics of spontaneous combustion.

Traditionally, each year our publishing house grants patronage over interesting and important scientific events. We would like to take the opportunity now and invite you to the upcoming 2017 project, which is the II Conference "BPH. To się opłaca" ("BPH. It pays off"), devoted to the problems of safety in the construction industry. The event will take place on the 1st and 2nd of April in Bydgoszcz.

We invite you to read all the articles published in this issue. We hope that you will find them interesting and that they will be an inspiration to submit your own findings and research to be presented in our journal.

Editorial Committee

CNBOP-PIB, Декабрь 2016

Уважаемые читатели,

Представляем Вам новый, 44 номер ежеквартального журнала «Безопасность и Пожарная Техника», который закрывает 11 год публикации нашего журнала.

С 2006 года в журнале было много изменений как визуальных, так и связанных с его содержанием. Каждый год в журнале публикуется все больше статей специалистов из разных частей Польши, а также зарубежных. В 2009 году первый раз наш журнал был включен в список журналов перечня Б Министерства Науки и Высшего Образования, получая при этом 4 балла. На протяжении лет мы усовершенствовали как процедуры отбора и рецензирования статей, так и редакционные стандарты, благодаря чему наше издательство получило признание среди ученых. Постоянное улучшение качества и расширение сотрудничества с авторами из Польши и из-за рубежа уже в 2015 году принесло нам успех и отразилось при оценке министерства – журнал получил 13 из 15 возможных баллов.

В течение 11 лет BITP стал узнаваемым в научном сообществе. Это не было бы возможно без сильной поддержки всех наших ученых-партнеров, выполняющих обязанности тематических и научных редакторов.

В текущем номере находится 14 статей. Среди них вы найдете 5 статей, опубликованных в двуязычной – польско-английской версии. Данные работы получили наивысшую оценку и были переведены в рамках финансирования, которое мы получили от Министерства Науки и Высшего Образования.

Из всех опубликованных работ особого внимания заслуживает статья под названием *Использование линейного программирования как метода расчёта огнестойкости стальной рамной несущей конструкции*. Работа показывает способ оценки огнестойкости стальной рамной несущей конструкции на основе методологии линейного программирования. В статье представлена информация о расчетах огнестойкости для целой рамы путем вычисления критической температуры, оп ределяемой в зависимости от достижения исследуемой конструкцией предельного значения пожарной нагрузки. Информация, представленная в статье, имеет большое значение для широко по нимаемой пожарной охраны и строительной механики. В статье представлен новый подход, который может быть использован для разработки методов оценки огнестойкости строительных элементов.

Очень интересной статей является также работа коллектива авторов из Украины под названием *Универсальный комплексный показатель эндогенной пожароопасности*. Работа имеет большое практическое значение. Она представляет собой комплексный показатель эндогенной пожароопасности органического материала, позволяющий по результатам его теплофизических свойств и условий теплообмена с окружающей средой определять основные характеристики самовозгорания.

Традиционно, наше издательство ежегодно предоставляет медийный патронаж интересным и важным научным мероприятиям. Именно поэтому мы бы уже хотели пригласить Вас на данное событие в 2017 году, которым является II конференция „Безопасность труда. Это важно", посвященная проблемам безопасности в строительной отрасли. Мероприятие пройдет 1-2 апреля в г. Быдгощ.

Приглашаем Вас к прочтению всех статей, опубликованных в этом номере. Надеемся, что они будут Вам интересны и станут вдохновением, чтобы прислать в редакцию собственные научные результаты.

Редакционный Совет

RCB
Rządowe Centrum Bezpieczeństwa

Rządowe Centrum Bezpieczeństwa
Dyrektor
Marek Kubiak

bryg. dr inż. Dariusz Wróblewski
Dyrektor Centrum Naukowo-Badawczego
Ochrony Przeciwpożarowej
Państwowego Instytutu Badawczego

Szanowny Panie Dyrektorze,

Zmieniająca się rzeczywistość oraz charakter współczesnych zagrożeń, w tym m.in. związanych z terroryzmem czy zagrożeniami hybrydowymi, wymaga od nas bieżącej aktualizacji tego, w jaki sposób postrzegamy bezpieczeństwo.

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy od lat poświęca wiele uwagi kwestiom bezpieczeństwa. To dzięki Państwa działalności wyniki badań naukowych, prace dydaktyczne uczelni i instytutów badawczych popularyzowane są wśród ekspertów i specjalistów zainteresowanych tematyką ochrony przeciwpożarowej, ochrony ludności i szeroko pojętego bezpieczeństwa. Wydawany przez Państwa kwartalnik „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza" jest bez wątpienia profesjonalnym i merytorycznym źródłem wiedzy na temat aktualnych i istotnych problemów, a także tych, które z punktu widzenia bezpieczeństwa i ochrony ludności, mogą być kluczowe w przyszłości.

Właśnie ze względu na dynamicznie zmieniający się świat, a wraz z nim katalog zagrożeń, tak ważne jest upowszechnianie wiedzy na temat szeroko pojętego bezpieczeństwa. Wszystkim, którym problematyka ta jest bliska polecam lekturę kwartalnika „Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza".

z poważaniem

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.1

dr **Małgorzata Gawlik-Kobylińska**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 28.08.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 12.09.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Przedsiębiorczość akademicka na przykładzie Uniwersytetu Harvarda. Transfer doświadczeń dla kreowania bezpieczeństwa

Academic Entrepreneurship Based on the Activities of Harvard University. Technology Transfer for the Security Discipline

Академическое предпринимательство на примере Гарвардского университета. Передача опыта для создания безопасности

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest analiza modelu transferu technologii, jaki funkcjonuje na Uniwersytecie Harwardzkim, oraz wskazanie wybranych czynników warunkujących adaptację niektórych z jego rozwiązań w polskich uczelniach kształcących w obszarze bezpieczeństwa. Według autorki rozwijający się w Polsce system współpracy nauki z biznesem mógłby zostać wzbogacony o wybrane i sprawdzone za granicą rozwiązania, dopasowane do istniejącego systemu prawnego w Polsce. Zdaniem autorki uwarunkowania organizacyjne, inwestowanie w zasoby ludzkie oraz przestrzeganie zasad etycznych w relacjach społecznych stanowią kluczowe czynniki w rozwoju przedsiębiorczości akademickiej.
Wprowadzenie: W dobie dynamicznego kształtowania się gospodarki opartej na wiedzy, jedną z form kreowania bezpieczeństwa jest współpraca różnych instytucji przy tworzeniu innowacji w zakresie przeciwdziałania szeroko pojętym zagrożeniom dla życia i zdrowia ludzkiego. Współpraca ta często wiąże się z rozwijaniem tzw. przedsiębiorczości akademickiej, czyli działalności środowiska akademickiego – studentów, doktorantów, kadry akademickiej, pracowników samodzielnych, pomocniczych i administracji na rzecz przepływu wiedzy i technologii z laboratoriów do przedsiębiorstw. Jej rezultatem jest zakładanie przedsiębiorstw przez pracowników uczelni, jej studentów i doktorantów na terenie uczelni lub w jej pobliżu. Jednakże efektywność i sprawność takiej współpracy zależy od przyjętego przez instytucję modelu transferu technologii. Wykorzystanie tzw. „dobrych praktyk" do tworzenia takiego modelu zależy od ich zgodności z istniejącym systemem prawnym. Adaptację wybranych rozwiązań przyjętych przez Uniwersytet Harwardzki musi poprzedzać zatem szczegółowe rozpoznanie ogólnych uwarunkowań funkcjonowania macierzystej instytucji, a następnie dopasowanie ich do realiów uczelni.
Metodologia: W artykule zastosowano metodę analizy, krytyki piśmiennictwa oraz metodę wywiadu eksperckiego. Autorka wykorzystała materiały wydane przez Uniwersytet Harwardzki oraz przeprowadziła wywiady z kadrą zarządzającą uniwersyteckiego Biura ds. Rozwoju Technologii.
Wnioski: Na podstawie analizy procesu transferu technologii na Uniwersytecie Harwardzkim oraz przeprowadzonych wywiadów można zauważyć, że adaptacja rozwiązań do polskich warunków wymaga uwzględnienia trzech czynników związanych ze sferą organizacyjną (w tym aspektów prawnych), kapitałem społecznym oraz etyką w relacjach społecznych. Należy zwrócić szczególną uwagę na kwestie związane z upowszechnianiem wiedzy oraz podnoszeniem świadomości społeczności akademickiej w zakresie uwarunkowań powstawania innowacji i funkcjonowania uniwersytetów tzw. trzeciej generacji. Wskazano również na potrzebę zmiany nastawienia do zachowań proinnowacyjnych oraz konieczność poszanowania prawa własności intelektualnej.

Słowa kluczowe: komercjalizacja wyników badań naukowych, transfer wiedzy i doświadczeń, przedsiębiorczość akademicka, bezpieczeństwo
Typ artykułu: studium przypadku – analiza zdarzeń rzeczywistych

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is to analyse the Harvard University technology transfer model and indicate selected factors, which condition the adaptation of some solutions at Polish universities in study areas associated with security. In the author's view, the emerging system of co-operation between scientific education and business enterprise requires a need to consider the implementation of some proven solutions and adaptation of these within existing legal parameters of the state. It is considered that the organisational environment; investment in human resources and maintenance of ethical social relations are key factors for the development of academic entrepreneurship.
Introduction: In an era of dynamic shaping of the economy, based on knowledge, one approach to the creation of a safe environment is through co-operation between different institutions with innovative advances to counteract widely recognised dangers to life and health of humans. Such co-operation is frequently associated with the development of so-called academic entrepreneurship or activity within the academic environment: graduate and PhD students, academic staff, independent employees, and the support and administrative function involved in the movement of knowledge and technology from laboratories to business undertakings. The outcome from such activity culminates in a business start-up by academic stakeholders at the university premises or locations in close proximity. However, the effectiveness and efficiency of such

[1] Akademia Sztuki Wojennej w Warszawie / War Studies University; m.kobylinska@aon.edu.pl;

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.1

co-operation depends on the technology transfer model adopted by the institution. Utilisation of existing so-called "good practice" for the creation of such a model should be harmonised within prevailing legal parameters. The desire to adapt selected solutions adopted by Harvard University demands a comprehensive understanding of overall environmental conditions which exist at the parent institution followed by a suitable adaptation of such conditions to the realities of the target academic institute.
Methodology: This article utilised an analytical approach coupled with a literature review and observation. The author made use of materials published by Harvard University and conducted interviews with managers from the Office of Technology Development.
Conclusions: Based on an analysis of the transfer process at Harvard University and from information acquired during interviews, one may deduce that the adaptation of local solutions to the Polish environment requires recognition of three factors associated with the organisation sphere. These include: legal aspects, social capital and ethical issues in social relationships. It is pertinent to focus specifically on issues associated with dissemination of knowledge and intensify the awareness of the academic community on matters concerning the conditions for innovation and development of third generation universities. Additionally, there is a need for behavioural change in context of pro-innovation attitudes and maintain the respect of intellectual property laws.

Keywords: commercialization of research results, transfer of knowledge and experience, academic entrepreneurship, security discipline
Type of article: case study – analysis of actual events

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель данной статьи состоит в анализе модели передачи технологии, которая функционирует в Гарвардском университете, и указании отдельных факторов, определяющих адаптацию некоторых решений в польских университетах, которые проводят обучение в сфере безопасности. По мнению автора, в развивающейся в Польше системе сотрудничества науки и бизнеса необходимо рассмотреть вопрос применения некоторых проверенных решений и их адаптации к действующей правовой системе государства. Автор считает, что организационные условия, инвестиции в человеческий капитал и соблюдение этических норм в социальных отношениях являются ключевыми факторами для развития академического предпринимательства.
Введение: В эпоху динамического развития экономики, основанной на знаниях, одной из форм создания безопасности является сотрудничество различных институтов по развитию инновационной деятельности в сфере предупреждения широко понимаемых угроз для жизни и здоровья человека. Это сотрудничество часто связано с развитием так называемого академического предпринимательства, т.е. деятельности академического сообщества – студентов, аспирантов, научных сотрудников, независимых сотрудников, подсобных сотрудников и сотрудников администрации для передачи знаний и технологий из лабораторий в компании. Ее результатом является создание предприятий сотрудниками университетов, их студентами и аспирантами на территории университета или в его окрестностях. Тем не менее, эффективность такого сотрудничества зависит от принятой модели передачи технологии. Использование так называемой „передовой практики" при создании такой модели должно учитывать существующую правовую систему. Готовность адаптировать некоторые решения, принятые Гарвардским университетом, требует детального рассмотрения общих условий функционирования главного учебного заведения, а затем адаптирование их в его реалиях.
Методология: В данной статье используется метод анализа, критики литературы и метод экспертного опроса. Автор использовал материалы, опубликованные Гарвардским университетом, и провел интервью с руководством университетского Департамента по развитию технологии.
Выводы: На основании анализа процесса передачи технологии в Гарвардском Университете и проведенных интервью можно заметить, что адаптация решений в Польше заставляет нас учесть три фактора, связанные с организационной сферой (в том числе правовые аспекты), социальным капиталом и соблюдением общественных этических норм. Следует обратить особое внимание на вопросы, связанные с распространением знаний и повышением осведомленности академического сообщества относительно условий формирования инноваций и функционирования так называемых университетов третьего поколения. Кроме того, указана необходимость изменения отношения к поведению, направленному на создание инноваций, а также необходимость уважать права интеллектуальной собственности.

Ключевые слова: коммерциализация результатов научных исследований, передача знаний и опыта, академическое предпринимательство, безопасность
Вид статьи: тематическое исследование – анализ реальных случаев

1. Wprowadzenie

Uczelnie w społeczeństwie postindustrialnym, oprócz tworzenia nowej wiedzy, jej przekazywania i upowszechniania, coraz prężniej realizują tzw. trzecią misję, jaką jest ułatwianie przepływu wiedzy i technologii do świata przemysłu. Z tego powodu traktowane są one jako „kotwice" wspierające regionalny wzrost gospodarczy [1]. Ich działalność mają determinować dobro społeczeństwa oraz odpowiedzialność społeczna. Określenia, takie jak komercjalizacja badań naukowych, transfer wiedzy i technologii, innowacyjność, ochrona własności intelektualnej coraz częściej znajdują się w uczelnianych regulacjach, co niewątpliwie jest przejawem akademickiej transformacji. Według J.G. Wissema uniwersytety nadal będą kształcić i prowadzić badania naukowe, ale będą też stanowić centra wiedzy i kompetencji na użytek społeczeństwa, w których decydenci oraz podmioty gospodarcze będą poszukiwać rozwiązań. Powstają zatem modele uniwersytetów, określane często jako uniwersytety trzeciej generacji [2]. Tego typu uniwersytety wspierają przedsiębiorczość na trzech etapach: preinkubacji, inkubacji oraz akceleracji pomysłu. Dzieje się to poprzez: tworzenie regulaminów komercjalizacji lub innych aktów na poziomie uczelni regulujących kwestie dotyczące głównie własności intelektualnej; tworzenie instrumentów, w tym finansowych, wspierających w zakładaniu firm akademickich; promocję rezultatów badań naukowych prowadzonych w jednostkach naukowych (marketing nauki), a także poprzez wykorzystanie instrumentów wspierających transfer tych rezultatów do praktyki gospodarczej. Sam termin przedsiębiorczości akademickiej został szeroko omówiony w publikacji *Innowacje i transfer technologii. Słownik pojęć* pod red. K.B. Matusiaka, w której autor zwrócił uwagę na fakt, iż termin ten pojawił się w ustawie „Prawo o Szkolnictwie Wyższym" [3, 4, s. 235]. W artykule 4 ust. 4 czytamy: „Uczelnie współpracują z otoczeniem gospodarczym, w szczególności przez sprzedaż lub nieodpłatne przekazywanie wyników badań i prac rozwojowych przedsiębiorcom oraz szerzenie idei przedsiębiorczości w środowisku akademickim, w formie działalności gospodarczej wyod-

rębnionej organizacyjnie i finansowo od działalności, o której mowa w art. 13 i 14". Dalej w artykule 86 odnajdujemy: „W celu lepszego wykorzystania potencjału intelektualnego i technicznego uczelni oraz transferu wyników prac naukowych do gospodarki, uczelnie mogą prowadzić akademickie: inkubatory przedsiębiorczości oraz centra transferu technologii" [4, s. 235]. Można więc zauważyć, że formalne ramy tego pojęcia są dosyć szerokie i obejmują całą społeczność akademicką. Często pojęcie to kojarzone jest z zakładaniem akademickich firm odpryskowych (*spin-off i spin-out*), nowych przedsiębiorstw tworzonych na bazie wiedzy i rozwiązań powstałych w trakcie badań prowadzonych na uczelniach i w instytucjach naukowo-badawczych [4, s. 14].

Przedsiębiorczość akademicka może również dotyczyć wdrażania innowacyjnych rozwiązań w obszarze przeciwdziałania różnym zagrożeniom. Rozwój cywilizacji i związana z nim ewolucja społeczeństwa generują coraz to nowsze problemy związane z zachowaniem bezpiecznego środowiska. Bezpieczeństwo, jako kluczowa potrzeba i wartość człowieka, zaspokaja potrzeby istnienia, przetrwania, całości, tożsamości, niezależności, spokoju, posiadania i pewności rozwoju [5]. Zatem transfer technologii ze świata nauki do biznesu ma szczególne znaczenie w budowaniu bezpieczeństwa, bowiem zbrojenia i militarnie uwarunkowane badania nie tylko pomagają zabezpieczyć państwo, ale także pozwalają na wprowadzenie nowych wynalazków dla społeczeństwa [6]. Już dzisiaj można zauważyć tworzenie się międzynarodowych i krajowych konsorcjów, klastrów, których współpraca polega na gromadzeniu, konstruowaniu nowej wiedzy, innowacyjnych pomysłów w celu kreowania środowiska bezpieczeństwa. W Polsce zainteresowanie współpracą uczelni z biznesem jest coraz większe Potwierdza to liczba powstających centrów transferu technologii, np. CTT Wojskowej Akademii Technicznej (edukacja i pomoc w zakresie doradztwa w sprawach ochrony własności przemysłowej, patentów i praw autorskich pracownikom WAT) [7]. Zainteresowanie współpracą uczelni z podmiotami zewnętrznymi wyrażane jest również poprzez udział w projektach badawczo-rozwojowych, którego przykładem może być „Zintegrowany system budowy planów zarządzania kryzysowego w oparciu o nowoczesne technologie informatyczne" (w którym udział wzięła Akademia Obrony Narodowej, a za który w marcu 2014 roku twórcy otrzymali złoty medal z wyróżnieniem) [8]. Należy zauważyć, że w Polsce pojawianie się firm akademickich, powołanych w celu komercjalizacji danego wynalazku, nie jest jeszcze zjawiskiem powszechnym i szczegółowo omawianym. Prawdopodobnie jest to związane z szeroko rozumianymi aspektami formalno-prawnymi, organizacyjnymi, a także kwestiami dotyczącymi zarządzania kapitałem społecznym oraz etyką w relacjach społecznych. Jednak rosnące zainteresowanie przedsiębiorczością akademicką implikuje poszukiwania w kierunku optymalnych rozwiązań tworzenia warunków do rozwoju innowacji. Z tego powodu istotne może okazać się dokonanie analizy funkcjonowania jednostek organizacyjnych zajmujących się transferem technologii i uwarunkowań ich działania w celu ewentualnej adaptacji gotowych rozwiązań w danej instytucji. Analiza ta pozwoli na wyciągniecie wniosków dotyczących wdrożenia niektórych elementów tego modelu w polskich uczelniach zajmujących się kreowaniem szeroko rozumianego bezpieczeństwa. Jest to szczególnie istotne dla instytucji, które są w fazie opracowywania strategii rozwoju innowacji, komercjalizacji wyników badań naukowych i są zainteresowane wdrażaniem idei uniwersytetu trzeciej generacji, czyli uniwersytetu przedsiębiorczego. Należy jednak zaznaczyć, że dopasowanie do tych wzorców wiąże się z uwarunkowaniami na szczeblu regionalnym, państwowym, instytucjonalnym, a także indywidualnymi doświadczeniami danej jednostki.

2. Proces komercjalizacji wynalazku – studium przypadku Uniwersytetu Harvarda

Filozofia, wedle której celem dokonywania odkryć i rozwijania wynalazków jest dobro publiczne, jest realizowana na Uniwersytecie Harwardzkim. Poprzez „połączenie" świata nauki z doświadczeniami przedsiębiorców -praktyków oraz doradców (zewnętrznych) innowacyjne pomysły stanowią odpowiedź na potrzeby społeczeństwa. Szczegółową realizacją tych pomysłów zajmuje się uniwersyteckie Biuro ds. Rozwoju Technologii (Harvard University's Office of Technology Development – OTD), którego jednym z głównych zadań jest pomoc w pozyskaniu funduszy na badania oraz nawiązaniu partnerstwa z przemysłem. Biuro uczestniczy również w procesach patentowania, tworzenia start-upów, szacowania wartości wynalazku, czy też potencjału jego komercjalizacji [9, s. 3]. Warto nadmienić, że pojęcie start-up charakteryzuje etap rozwoju przedsiębiorstwa i jest ono rozumiane jako przedsiębiorstwo, które dopiero rozpoczęło działalność, niezależnie od jego wielkości. Najczęściej jednak jest to małe przedsiębiorstwo. Na tym etapie firma nie sprzedaje jeszcze swoich produktów komercyjnie. Nowo utworzona firma – istniejąca zazwyczaj nie dłużej niż rok, rozwija produkt i kompletuje dane marketingowe [10].

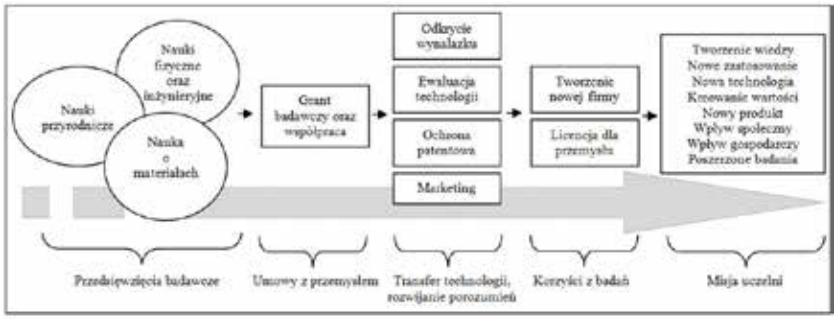
Podstawą działalności Biura ds. Rozwoju Technologii jest tak zwany Bayh-Dole Act z 1980 roku (występujący również pod nazwą The Patent and Trademark Amendments Act), zezwalający uniwersytetom na komercjalizację wynalazków rozwijanych w procesie badawczym. Warto zaznaczyć, że od ponad dwudziestu lat misji tego uniwersytetu przyświecają takie wartości jak utylitaryzm i dobro społeczne. Zatem wsparcie dla naukowców udzielane jest we wszystkich stadiach rozwoju technologii i jej transferu do przemysłu.

Zgłoszenie pomysłu do harwardzkiego Biura ds. Rozwoju Technologii poprzedzone jest zapoznaniem się z procedurami związanymi z transferem technologii. Zaprezentowany nowy pomysł od razu podlega ochronie własności intelektualnej. Prowadzone są również dodatkowe badania w celu weryfikacji koncepcji. Na dalszym etapie następuje ochrona patentowa oraz marketing wynalazku: licencjonowanie, podpisanie porozumień/umów na temat prowadzenia badań lub zakładanie nowej firmy (start-up). Finalnym kaskadowym efektem jest pojawienie się nowego produktu, który przyczynia się do stworzenia nowej wiedzy, technologii, a w końcu produktu, jego nowego zastosowania, kreowania wartości, wpływu społecznego i gospodarczego, a także generowanie nowych badań. Ścieżkę rozwoju wynalazków na Uniwersytecie Harvarda ilustruje ryc. 1.

Można zauważyć, że jest to uniwersalny schemat postępowania, który może być zaadoptowany przez dowolną uczelnię, realizującą zdania za pośrednictwem podmiotów zewnętrznych.

W wywiadzie przeprowadzonym z dyrektorem harwardzkiego Biura ds. Transferu Technologii, Davidem Pruskinem działalność omawianej jednostki organizacyjnej jest także skoncentrowana na zabezpieczaniu interesu uczelni, jednocześnie respektując przy tym zasady otwartości i niezależności środowiska akademickiego. Ustanowiona w tym celu polityka uniwersytetu dotycząca własności intelektualnej chroni nowe pomysły, działania lub wynalazki przed nieuprawnionym wykorzystywaniem, a także umożliwia sprzedaż, kupno lub licencjonowanie prawa własności (według tej polityki udziały pomiędzy wynalazcą a uczelnią są równe, wynoszą 50/50). W opinii Pruskina klarowne uregulowanie kwestii prawnych pomiędzy wszystkimi stronami, analizowanie potencjału pomysłu, wskazywanie szans i zagrożeń, silnych i słabych stron, prognozowanie rozwoju wy-

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.1



Ryc. 1. Ścieżka rozwoju wynalazków na Uniwersytecie Harvarda

Źródło: Opracowanie własne.

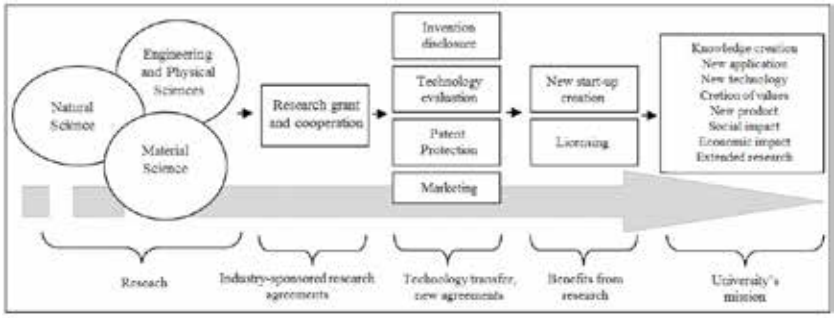


Fig. 1. Invention development at Harvard University

Source: Own elaboration.

nalazku stanowią kluczowe kwestie we współpracy. Współpraca ta wiąże się z upływem określonego czasu, który nie zawsze wpływa korzystanie na całe przedsięwzięcie. Przed wdrożeniem innowacji może dojść do ujawnienia pomysłu i przejęcia go przez inną osobę lub podmiot. Aby zapobiec tego typu ewentualnym nieetycznym zachowaniom oraz „wypełnić lukę" pomiędzy wczesną a późną fazą weryfikacji pomysłu (tzw. *proof-of-principle* oraz *proof-of-concept*), w uczelni powołano Fundusz dla Akceleratora Rozwoju Przedsiębiorczości *(Technology Development Accelerator Fund)* [11]. Warto nadmienić, że w fazie *proof-of-principle* prowadzone są badania przemysłowe i stosowane, dokonywana jest wstępna ocena potencjału projektu, analiza otoczenia konkurencyjnego, następuje zdefiniowanie planu badawczego i pierwszych kamieni milowych rozwoju projektu. Natomiast faza *proof-of-concept* – to zwykle realizacja badań przemysłowych i stosowanych, których wyniki – jeśli są pozytywne – w typowych sytuacjach umożliwią pełne zgłoszenie patentowe lub przejście do fazy międzynarodowej zgłoszenia pierwszeństwa w trybie *Patent Cooperation Treaty – PCT, czyli Układu o Współpracy* Patentowej [12]). Dzięki wspomnianemu Funduszowi projekty mogą być wspomagane już w początkowej fazie ich rozwoju (czyli na etapie weryfikacji konceptu). Rozwiązanie to okazało się korzystne, o czym mogą świadczyć dane statystyczne: w latach 2007-2009 Fundusz wsparł 23 projekty, a całkowita kwota dofinansowania wyniosła ponad 4 miliony dolarów. Propozycje wsparcia projektów z wydziałów są oceniane przez specjalny komitet, w skład którego wchodzą przedstawiciele przemysłu oraz biznesu [9, s. 20].

Do zalet współpracy z Biurem ds. Rozwoju Technologii zaliczają się: nowe wynalazki, realizowane są nowe patenty, partnerstwo oraz szerokie możliwości współpracy, nowe porozumienia/umowy, nowe formacje przedsiębiorstw, wzrost gospodarczy, tworzenie miejsc pracy, korzyści dla społeczeństwa, zysk finansowy (tantiemy).

2.1. Od pomysłu do wynalazku

Pierwszym krokiem do komercjalizacji wynalazku jest zgłoszenie pomysłu do Biura ds. Rozwoju i Technologii (które zapewnia jego ochronę prawną). Procedura zgłoszenia jest realizowana poprzez wypełnienie specjalnego formularza online, w którym należy uwzględnić opis wynalazku, jego zamierzone zastosowanie komercyjne, osoby i instytucje/organizacje, które będą uczestniczyć w jego rozwijaniu oraz źródła finansowania. Zgłoszenie patentowe zapewnia ochronę wartości intelektualnej, z którą rozwój wynalazku może zostać pomyślnie sfinalizowany. Warto zaznaczyć, że Uniwersytet Harvarda generuje także inne przedmioty ochrony własności intelektualnej, takie jak publikacje akademickie i materiały na temat nieopatentowanych jeszcze pomysłów.

Każdy pomysł poddawany jest wnikliwej ewaluacji pod kątem jego opatentowania. Jednocześnie, aby nie obniżyć jego potencjalnej wartości komercyjnej, prowadzone jest poradnictwo na temat sposobów unikania zbyt wczesnego ujawnienia informacji stronom trzecim. Ujawnienie pomysłu jest rozumiane bardzo szeroko i może nawet dotyczyć nieformalnych rozmów czy wymiany korespondencji e-mailowej, prezentacji oraz jakiejkolwiek publikacji. Biuro dokonuje rozpoznania, czy opublikowanie lub prowadzenie dyskusji naukowej na temat danego pomysłu jest uzasadnione, czy też potencjalnie szkodliwe. Od stopnia zachowania tych informacji zależy bowiem przyznanie prawa patentowego. **Sam pomysł nie stanowi jednak wynalazku**. Aby wynalazek mógł być opatentowany, powinien być w zgłoszeniu przedstawiony w sposób zrozumiały i opisywać problem, jaki ma rozwiązać oraz sposób jego rozwiązania. Takie przedstawienie powinno uwzględniać techniczną realizację pomysłu.

W kwestii samej definicji wynalazku, harwardzka polityka własności intelektualnej opisuje go jako pomysł, odkrycie lub wiedzę proceduralną (tak zwane *know-how*), która może być opatentowana lub posiada potencjał do opatentowania [9, s. 6]. Może być to nowa metoda z możliwością zastosowania,

zestawienie składników lub aparat charakteryzujący się unikatowymi właściwościami. Jakakolwiek technologia, która jest związana z wynalazkiem lub go wspiera, jest uznawana za część wynalazku. Wynalazek ma przynosić wymierne korzyści dla jego użytkowników. Warto wspomnieć, że w Polsce Ustawa z dnia 30 czerwca 2000 r. Prawo własności przemysłowej (Dz. U. z 2003 r. Nr 119, poz. 1117 z późn. zm.), podobnie jak inne ustawy na świecie dotyczące dziedziny własności przemysłowej, nie definiuje pojęcia wynalazku. Ustawa ta wskazuje natomiast, na jakie wynalazki może być udzielona ochrona [13]. Z pojęciem wynalazku łączy się osoba wynalazcy, która jest definiowana jako osoba, której pomysły oraz prowadzone eksperymenty są związane z koncepcją wynalazku. Może być to również osoba, która włożyła znaczący wkład w rozwój wynalazku, gdyż sam wynalazek może być efektem pracy wielu osób. W harwardzkim środowisku akademickim termin wynalazca może odnosić się również do osoby, w której gestii jest laboratorium – miejsce rozwijania wynalazku, studentów, którzy prowadzą prace badawcze oraz autorów publikacji dotyczących wynalazku [9, s. 6].

2.2. Ochrona wynalazku

Jeśli wynalazek ma podlegać komercjalizacji, musi zostać poddany ochronie. Patent jest najpewniejszą formą ochrony wynalazku. Według amerykańskiego prawa patent zapobiega wytwarzaniu, wykorzystywaniu lub sprzedaży własności intelektualnej przez 20 lat, licząc od daty zgłoszenia, włączając zróżnicowane okresy ochrony jurysdykcji za granicą. Ten okres wyłączności stanowi zachętę do komercjalizacji, ponieważ jest wystarczająco długi do przeprowadzenia niezbędnych inwestycji w zakresie rozwoju oraz marketingu. Licencjonowanie prawa patentowego na partnerów z sektora komercyjnego może zainicjować współpracę, sprzyjającą dalszemu rozwoju projektu. Biuro ds. Rozwoju Technologii doradza w sprawach opatentowania wynalazku. Aby wynalazek mógł być poddany opatentowaniu, musi spełniać trzy zasadnicze kryteria [11]:

1) użyteczności (*useful*) – wynalazek musi posiadać praktyczny wymiar; stanowi to duże wyzwanie dla wynalazcy;
2) nowości (*novel*) – czyli różnić się znacząco od pomysłów lub innych materialnych wytworów, które są już znane, wykorzystywane lub opatentowane. Wynalazek może zawierać znane już cechy i być wykorzystywany w nowatorski sposób w istniejących warunkach. Nowatorstwo wynalazku może zostać narażone na przedwczesne ujawnienie lub opóźnienie w związku z szeroko pojętymi bezprawnymi działaniami;
3) nie może być oczywisty (*non-obvious*) dla osoby, która zajmuje się podobną problematyką. Ponieważ określenie „oczywistości" może ulegać swobodnej interpretacji, to kryterium podlega dyskusji.

W sytuacji, gdy wynalazek spełnia warunki opatentowania, Biuro ds. Rozwoju Technologii zgłasza go do właściwego urzędu patentowego (U.S. Patent and Trademark Office), który publikuje aplikację patentową w terminie 18 miesięcy po dokonaniu zgłoszenia. W Stanach Zjednoczonych zgłoszenie patentowe musi być dokonane w ciągu jednego roku od pierwszej publikacji na jego temat lub jego ujawnienia. Aby zachować międzynarodowe prawa patentowe, zgłoszenie patentowe musi pojawić się przed jakąkolwiek formą ujawnienia lub opublikowania informacji na temat wynalazku. Samo określenie patent oznacza narzędzie komercyjne do ochrony wynalazku poprzez przyznanie właścicielowi monopolu (trwającego najdłużej 20 lat) na technologię. Na Uniwersytecie Harvarda, pomysł, odkrycie lub wiedza proceduralna (*know-how*) mogą zostać opatentowane wraz ze związaną z nimi lub wspierającą je technologią. Patentowane są działania, maszyny, składniki, kompozycje substancji, metody wytwarzania wraz z ich nowatorskimi udoskonaleniami istniejących już tego typu wynalazków. Zgłoszenie patentowe jest w formie portfolio. Zawiera ono abstrakt, rozprawę na temat ostatnich osiągnięć w dziedzinie wynalazku, a także szczegółowy opis wynalazku, włączając przykłady oraz grafikę. Zgłoszenie takie jest dopełnione składanym pod przysięgą oświadczeniem [9, s. 7].

2.3. Marketing wynalazku oraz współpraca z przemysłem

Wprowadzenie wynalazku na rynek wymaga ekspertyzy, szeroko ujmowanych zasobów oraz efektywnej sieci powiązań biznesowych. Biuro ds. Rozwoju Technologii współpracuje z wydziałem uczelni w celu dokonania oceny, czy wchodzić w partnerstwo z istniejącą już na rynku firmą, czy też zawiązać nową firmę (start-up). Każda z tych ścieżek posiada swoje zalety oraz wyzwania. Bez względu na to, która ścieżka została wybrana, Biuro udziela wsparcia decyzyjnego i pomaga wynalazcy podczas całego procesu wprowadzania na rynek. Wynalazek otrzymuje „opakowanie", definiowana jest grupa docelowa odbiorców, oszacowana zostaje wartość produktu (propozycja dotycząca technologii i przygotowania prospektu możliwości dla potencjalnych partnerów oraz/lub inwestorów wyszukanych z sieci kontaktów i powiązań biznesowych, o wyborze których wynalazca może współdecydować). Następuje wstępna dyskusja i analiza najlepszej ścieżki, często podczas specjalnie zorganizowanych spotkań, podczas których wszelkie informacje, prezentacje wynalazców przekazywane są poufne. Dla samych wynalazców wskazane jest nawiązanie kontaktu najpierw z Biurem ds. Rozwoju Technologii, a dopiero potem z potencjalnym inwestorem.

Kolejnym krokiem w procesie wprowadzania wynalazku lub produktu na rynek jest rozwijanie porozumień/umów dotyczących transferu technologii z partnerem przemysłowym, uznanym przez Biuro za optymalnie zdolnym do komercjalizacji technologii. Biorąc pod uwagę charakter technologii oraz inne czynniki, które zostają poddane analizie, najlepszym partnerem może okazać się zarówno istniejące już na rynku przedsiębiorstwo, jak i firma start-up.

2.3.1. Licencjonowanie

Licencja to narzędzie poprzez które osoba dzierżąca prawa intelektualne przyznaje drugiej stronie pozwolenie posiadanie części lub wszelkich praw własności, niezależnie od tego, czy wynalazek został opatentowany. Licencje zazwyczaj przyjmują formę umów pisanych określających prawa i obowiązki każdej ze stron wynikających z umowy. Mogą one być zastrzeżone. Podczas negocjowania licencji, Biuro zawsze zachowuje prawo wykorzystania wynalazku na cele niekomercyjne na Uniwersytecie Harwardzkim i poza nim [11]. W zakres współpracy z przemysłem wchodzi licencjonowanie. Dlatego Biuro ds. Rozwoju Technologii negocjując warunki korzystne dla wszystkich stron: wynalazcy, uniwersytetu, partnera oraz dobra publicznego, bierze czynny udział w rozmowach na temat umowy licencyjnej (z przyznaniem praw lub wyłączeniem praw), jej zakresu, szczegółowych zobowiązań posiadacza licencji względem Uniwersytetu Harvarda, a także zobowiązań finansowych wobec Uniwersytetu.

2.3.2. Nowa firma (start-up)

Powstanie wynalazku może implikować potrzebę utworzenia firmy typu start-up. Biuro ds. Rozwoju Technologii wówczas pomaga ocenić, czy wybrana ścieżka jest najlepsza do komercjalizacji wynalazku. Dokonuje tego na podstawie analizy różnorodnych czynników, takich jak:

- potencjał technologii w zakresie przygotowania platformy dla różnorodnych możliwości rynkowych,
- obecność konkurencji,
- ograniczony interes firm w zakresie licencjonowania produktu,
- dostęp do kapitału udziałowego, wraz z wkładem i dotychczasowymi osiągnięciami potencjalnego inwestora,

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.1

- poziom zaangażowania inwestora w proces komercjalizacji,
- obecność biznesowego „championa" dla technologii i nowego przedsięwzięcia,
- zespół zarządzający zaproponowanym start-upem.

Według praktyków z Uniwersytetu Harvarda powołanie firmy start-up ma uzasadnienie wtedy, gdy prawo własności intelektualnej jest nie do podważenia, kiedy technologia posiada zastosowanie na szeroką skalę, kiedy brakuje podobnego rozwiązania w przemyśle oraz kiedy wynalazca zamierza bardzo aktywnie partycypować w rozwijaniu wynalazku.

Potencjalne zalety takiej firmy to większe zaangażowanie w technologię, zwiększone szanse, aby stać się udziałowcem. Rozwiązanie to wiąże się jednak z większymi wydatkami na rozwój podstawowej technologii. Potencjalne wyzwania/niedogodności to także: czasochłonność tworzenia spółki, niestabilność finansowa, konflikty w kwestii udziałów, trudności w rekrutowaniu kadry zarządzającej.

2.3.3. Badania sponsorowane przez przemysł

Biuro ds. Rozwoju Technologii odpowiada również za sponsorowanie przez podmioty zewnętrzne badań prowadzonych na wydziałach. Umowy dotyczące sponsorowanych badań (Industry Sponsored Research Agreement, ISRA lub Research Collaboration Agreements – RCAs) są nieodłączną częścią czynności związanych z przyznawaniem licencji. Gromadzona przez Biuro wiedza na temat rynku, kontaktów biznesowych oraz umiejętność kultywowania i utrzymywania produktywnych relacji z biznesem, pozwala na udzielanie pomocy w formie ścisłej współpracy, nawet w przypadku, kiedy komercjalizacja jest sprawą odległej przyszłości. Taka współpraca zawiera strategię sojuszu z przemysłem. Sojusz ten polega na podejmowaniu różnorodnej współpracy badawczej, aż do stworzenia masy krytycznej i przeprowadzeniu istotnych dla sponsora badań. Biuro przykłada ponadto dużą wagę do nieograniczania praw wynalazcy w zakresie prezentowania i publikowania wyników badań.

Polityka Biura w odniesieniu do polityki własności intelektualnej oraz polityki Uniwersytetu może odnosić się do działalności podejmowanej na Uniwersytecie Harvarda, włączając badania sponsorowane i zarządzanie konfliktami interesów.

2.4. Rodzaje umów

Dokładne planowanie procesu komercjalizacji wynalazku, wykwalifikowanej kadrze zarządzającej oraz dobrze skonstruowanymi umowami/porozumieniami, badacze z Uniwersytet Harvarda oraz partnerzy przemysłowi mogą nawiązywać współpracę. Umowa jest skonstruowana tak, aby odpowiadała potrzebom wszystkich stron: wynalazcy, uniwersytetu oraz partnera przemysłowego. Wyróżnia się następujące podstawowe typy umów negocjowanych przez Biuro ds. Rozwoju Technologii [11]:

1. Umowy o poufności Confidentiality Agreements (CDAs) lub Non-Disclosure Agreements (NDAs), które stosowane są w celu ochrony własności intelektualnej wynalazku.
2. Umowy w zakresie sponsorowanych badań Industry Sponsored Research Agreements (ISRAs) lub Research Collaboration Agreements (RCAs). ISRA określa warunki, w których sponsorzy wspierają prowadzenie badań na danym wydziale. RCA jest podobnym typem umowy, jednak sponsor jest również zaangażowany w prowadzenie badań. Biuro zapewnia, że obydwa rodzaje umów w pełni zabezpieczają interesy badaczy w kwestii jakiejkolwiek ingerencji ze strony sponsora w prowadzenie oraz publikowanie rezultatów badań.
3. Umowy wewnątrz instytucjonalne Inter-Institutional Agreements (IAAs) określają warunki, w jakich dwa lub ponad dwa uniwersytety lub inne instytucje będą współpracować z podmiotami rynku licencjonować i dzielić dochody pochodzące ze wspólnie dzierżonej własności intelektualnej.
4. Umowy licencyjne Licence Agreements określają warunki oraz zakres obowiązków dotyczących wykorzystania, rozwoju oraz sprzedaży produktów komercyjnych objętych prawem własności intelektualnej. Harwardzkie umowy licencyjne przewidują, iż właściciel licencji musi w szczególny sposób zadbać o rozwijanie danej technologii w komercyjny produkt stanowiący dobro publiczne, a także zapewnić uczelni uczciwy i należyty zysk. Umowy licencyjne zawierają szczegółowy plan działania dotyczący rozwijania i komercjalizacji technologii. Licencja może być przyznana istniejącej już na rynku lub nowej (NewCo) firmie. W niektórych przypadkach uczelnia może żądać akcji w nowo założonej firmie.
5. Umowa o transferze materiału Material Transfer Agreement. Badania naukowe często wymagają stosowanie prawnie zastrzeżonych receptur, materiałów. Aby zabezpieczyć interesy wszystkich stron, Biuro przygotowuje umowę w zakresie transferu materiałów pomiędzy badaczami z Harwardu, badaczami z innych uczelni, rządem, organizacjami komercyjnymi. Taka umowa jest istotna z punktu widzenia prawa własności, prawa do publikacji, prawa do wyników badań. Rocznie Biuro negocjuje około 1000 takich umów, najczęściej drogą elektroniczną.
6. Umowy Option Agreements lub umowy podpisywane w zakresie ISRA określają warunki, w których sponsor badań ma przyznane prawo negocjacji licencji. Umowy opcjonalne mogą również zostać zawarte z firmą, która zamierza dokonać ewaluacji danej technologii przed podpisaniem umowy licencyjnej. Biuro ds. Rozwoju Technologii czuwa nad prawidłową realizacją działań wynikających z umów przez wszystkie strony.

Scharakteryzowane instrumenty prawne ukazują szerokie spektrum możliwości współdziałania pomiędzy wynalazcą a różnymi podmiotami.

Zgłoszenie pomysłu, ochrona wynalazku, marketing wynalazku oraz współpraca z przemysłem oraz instrumenty, prawne jakimi są różne rodzaje umów, stanowią przykład systemowej organizacji procesu komercjalizacji wynalazku i stanowią solidny fundament dla rozwoju przedsiębiorczości akademickiej.

3. Czynniki warunkujące rozwój przedsiębiorczości akademickiej dla kreowania bezpieczeństwa

Transfer technologii na Uniwersytecie Harvarda jest realizowany w następującym cyklu: przedstawienie wynalazku, oszacowanie wartości technologii, ochrona patentowa, marketing technologii (zaangażowanie istniejących przedsiębiorstw lub powołanie nowych – start-upów), negocjacje i licencjonowane, komercjalizacja, dochód, ponowne inwestowanie w badania i edukację. Jest to tzw. otwarty model innowacji [14] (*open innovation*), który wywiera korzystny wpływ na rozwój gospodarki państwowej zarówno w zakresie tworzenia wiedzy w instytucjach naukowych, wspierania działalności przedsiębiorstw przez administrację publiczną, tworzenia nowych rozwiązań w przedsiębiorstwach oraz podnoszenia ich konkurencyjności i wartości. Cytując za B. Sieniewską, wyrażenie otwartej innowacji zostało wprowadzone do obiegu za H. Chesbroughiem, który jako pierwszy, w publikacji *Open Innovation: The New Imperative for Creating and Profiting from Technology* z 2003 r., opisał przechodzenie przedsiębiorstw z zamkniętego modelu innowacji do coraz bardziej otwierającego się na zewnętrzne innowacje sposobu zarządzania technologiami w przedsiębiorstwie [14]. Otwarty model innowacji wspiera rozwój gospodarki opartej na wiedzy, w której podstawowym kapitałem jest wiedza zakumulowana w jednostce, a następnie produktywnie przez nią wykorzystana. Gospodarka oparta na wiedzy kojarzy się również z pojęciami, takimi jak: talent (wybitny potencjał),

tolerancja i szacunek dla człowieka, poszanowanie jego godności i indywidualności, okazywanie życzliwości, a także rozwój technologii [15]. Wydaje się zatem, że otwartość, kultura współdziałania, nakierowanie na dobro społeczne przy poszanowaniu jednostek, są kluczowymi wartościami przyświecającymi aktywności naukowej oraz biznesowej.

Z informacji udzielonych przez jednego z pracowników Biura wynika, że w wymiarze społeczno-wychowawczym takie podejście znacząco zmienia profil absolwenta, który angażując się w projekty, zdobywa różnego rodzaju umiejętności osobiste, np. podejmowania decyzji, twórczego myślenia. Podejście uniwersytetu do kształcenia oraz badań naukowych jest zatem niezwykle pragmatyczne: działania eksperckie na rzecz społeczeństwa mają sprzyjać rozwojowi jednostki, przygotowywać ją do życia we współczesnym świecie.

Przeanalizowane elementy modelu transferu technologii mogą wspierać pomysły na stworzenie modelu jednostki administracyjnej zajmującej się transferem technologii w zakresie bezpieczeństwa. W jaki sposób dokonać transferu niektórych rozwiązań do takich jednostek? Według D. Pruskina, aby zaadoptować rozwiązania harwardzkie do realiów innych uczelni, szczególną uwagę należy zwrócić na trzy elementy:

- uwarunkowania organizacyjne, które są zależne przede wszystkim od ustawodawstwa danego państwa, podległości instytucjonalnej, dostępnych instrumentów prawnych, a także polityki przyjętej przez uczelnię;
- zasoby ludzkie, oznaczające inwestowanie w kompetencje pracowników jednostki organizacyjnej zajmującej się transferem technologii oraz kadry naukowo-dydaktycznej;
- etykę w relacjach społecznych, czyli kształtowanie postaw związanych z uczciwym zachowaniem wobec konkurencji.

W kontekście uwarunkowań organizacyjnych, korzystnym podejściem może okazać się wprowadzenie wspomnianego otwartego modelu innowacji, w myśl którego u źródeł sukcesu leżą poszukiwania idei i sposobów na zdobycie rynku, nie tylko wewnątrz swoich struktur, ale także w otoczeniu. Koncepcja otwartych innowacji zakłada, że: instytucja nie może zatrudnić wszystkich najlepszych specjalistów, dlatego powinna poszukiwać partnerów z różnych środowisk i dziedzin; istotne są zewnętrzne prace badawczo-rozwojowe; nie musi sama zapoczątkować badań, aby móc czerpać z nich korzyści – może czerpać z zewnętrznych pomysłów; ważniejsze niż bycie pierwszym, jest zbudowanie efektywnego modelu biznesowego; sukces można osiągnąć dzięki kombinacji wewnętrznych i zewnętrznych idei; można czerpać korzyści z wykorzystania własności intelektualnej poza firmą, jak i korzystać z zewnętrznej wiedzy, jeśli tylko usprawni ona działanie firmy [15].

Zatem część procesu innowacyjnego (czy to na poziomie rozwoju produktu, czy jego wdrażania) może być przeniesiona poza daną instytucję. Możliwa jest także sytuacja, w której pomysł jest zaczerpnięty z otoczenia firmy i jest następnie przez nią rozwijany [16]. Bardziej otwarte podejście pozwala na wstępnym etapie odrzucić idee, które nie mają szans na odniesienie sukcesu. Zaangażowanie przez daną instytucję podmiotów wywodzących się z różnorodnych środowisk, przy określeniu ścisłych warunków współpracy sprawia, że pomysł może zostać podany wielostronnej analizie i stanowić unikatowy produkt. Taka wielostronna współpraca może dotyczyć systemu recenzowania *peer review* (ocena poziomu badań przez zewnętrznych ekspertów), usług doradczych, czy też samego wprowadzania produktu na rynek. Warto zaznaczyć, że współpraca z zewnętrznymi organizacjami badawczymi, firmami, instytucjami wspierającymi transfer *know-how* jest skutkiem coraz gęstszego usieciowienia gospodarki na poziomie lokalnym oraz międzynarodowym, wspomaganym poprzez procesy integracyjne Unii Europejskiej. To usieciowienie jest nieodzownym czynnikiem kształtowania się tzw. kultury innowacji. Polskim przykładem kształtowania się kultury innowacji może być działalność Uczelnianego Centrum Badawczego Obronności i Bezpieczeństwa na Politechnice Warszawskiej, którego celem jest integracja zespołów badawczych pracujących wewnątrz uczelni związanych z szeroko rozumianą obronnością i bezpieczeństwem, popularyzacja badań wśród naukowców Politechniki oraz współpraca z Ministerstwem Obrony Narodowej, Ministerstwem Gospodarki, firmami z branży ochronnej, Europejską Agencją Ochrony i innymi ośrodkami badawczymi [17]. Innym rodzimym przykładem jest działalność Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, która prowadzi działalność naukowo-badawczą w interdyscyplinarnych obszarach ochrony przeciwpożarowej, technologii działań ratowniczych i ochrony ludności, a strategicznym celem tej uczelni jest osiągnięcie pozycji lidera w dziedzinie inżynierii bezpieczeństwa [18].

Dla wszelkich działań związanych z przedsiębiorczością akademicka prowadzoną na poziomie krajowym lub międzynarodowym, istotne jest stworzenie sprawnego i przyjaznego systemu prawnego, który zapewni przede wszystkim sprawne funkcjonowanie danego centrum odpowiadającego za rozwój wynalazku, bezpieczeństwo danego pomysłu [19] i możliwość jego rozwoju oraz nakreśli ramy dla budowania wartościowych relacji ze światem biznesu. Na prowadzenie działalności związanej z oceną zgodności wyrobów przeznaczonych na potrzeby obronności i bezpieczeństwa państwa, której celem jest wyeliminowanie zagrożeń stwarzanych przez wyroby przeznaczone na ww. potrzeby, zezwala specjalna akredytacja w zakresie obronności i bezpieczeństwa [19].

Obok sprzyjających uwarunkowań organizacyjnych szczególne znaczenie dla rozwijania przedsiębiorczości akademickiej ma inwestowanie w kompetencje pracowników centrów zajmujących się rozwijaniem wynalazków (zapewnienie przez pracodawcę szkoleń z zakresu prawa, czy marketingu). To również wzmocnienie potencjału kadry naukowo-dydaktycznej poprzez zapewnienie możliwości uczestnictwa w kursach językowych, czy też w warsztatach z myślenia projektowego – *design thinking*, które sprzyjają kreatywnemu myśleniu i interdyscyplinarnemu podejściu do tworzenia wynalazków. Do istniejących już przykładów takich zespołowych działań (prowadzonych często w środowisku międzynarodowym) można zaliczyć tworzenie wirtualnych materiałów dydaktycznych w edukacji dla bezpieczeństwa (połączenie kinematografii, pedagogiki, nauk o bezpieczeństwie) [20], tworzenie zaawansowanych środowisk symulacji wirtualnej takie jak VBS3 w celu szkolenia z działań ratowniczo-gaśniczych [21], czy choćby optymalnego narzędzia IT (połączenie informatyki i chemii) wykorzystywanego do oceny skażeń dla Krajowego Systemu Wykrywania i Alarmowania [22]. Współpraca sprzyja otwieraniu się na nową wiedzę oraz tworzeniu innowacji.

Trzeci istotny element sprzyjający rozwijaniu przedsiębiorczości akademickiej to etyka w relacjach społecznych. Szczególne znaczenie w tym względzie ma wyeliminowanie zachowań i nawyków związanych z brakiem poszanowania przepisów prawa oraz z nadużyciem władzy (popełnianie plagiatu, kradzież pomysłu, czy też ograniczanie inicjatyw podwładnych). Obserwacja praktyki społecznej pokazuje, że w środowisku naukowym zgłoszenie nieuczciwego zachowania, ze względu na możliwość potencjalnych reperkusji, nie jest częstym zjawiskiem. Postawy takie jak]ciche przyzwolenie społeczne, wykazywanie udawanego zrozumienia dla takiego postępowania albo usprawiedliwianie czy ignorowanie problemu nie sprzyjają budowaniu zaufania w zespołach naukowych.

Można zauważyć, że kreowanie przedsiębiorczości akademickiej jest procesem złożonym, długotrwałym, wymagającym podnoszenia standardów społeczno-kulturowych, tworzenia dogodnych warunków prawnych i polityczno-gospodarczych. Przede wszystkim wymaga zastosowania pragmatycznego podejścia i rozważnej adaptacji wybranych rozwiązań.

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.1

4. Wnioski

Przeniesienie do uczelni polskich sprawdzonych wzorców funkcjonowania jednostek zajmujących się transferem technologii, jakie przedstawiono na przykładzie Uniwersytetu Harwardzkiego, może wspomóc tworzenie warunków sprzyjających rozwijaniu wynalazków na rzecz szeroko rozumianego środowiska bezpieczeństwa. Takie działania wpisują się w strategię budowania odpowiedzialności społecznej, według której przedsiębiorstwa (uczelnie, firmy prywatne, stowarzyszenia) dobrowolnie uwzględniają interesy społeczne i ochronę środowiska oraz relacje z różnymi grupami interesariuszy.

Przeprowadzona analiza wdrożonych przez Uniwersytet Harwardzki rozwiązań ukazuje, iż dopracowany, ukierunkowany na tworzenie innowacji system, może stanowić wzorzec dla innych instytucji edukacyjnych, w których strategię wpisane są działania innowacyjne, rozwój naukowy, dobro społeczne. Należy zaznaczyć, że adoptowane wzorce te muszą być jednak dopasowane do specyfiki uczelni, przepisów krajowych i międzynarodowych w kontekście których ona funkcjonuje. Ponadto znaczącą rolę odgrywają tutaj inwestowanie w rozwój kompetencji pracowników oraz kreowanie relacji społecznych opartych na etycznym działaniu, tj. ochrona i poszanowanie własności intelektualnej. Adaptując niektóre rozwiązania, powinno zwrócić się szczególną uwagę na kwestie związane z upowszechnianiem wiedzy oraz podnoszeniem świadomości społeczności akademickiej w zakresie uwarunkowań powstawania innowacji oraz funkcjonowania uniwersytetów tzw. trzeciej generacji. W tym aspekcie istnieje konieczność zmiany nastawienia decydentów i kadry wykonawczej do działań proinnowacyjnych.

Rozwijanie przedsiębiorczości akademickiej jest zatem procesem wymagającym nieustannych adaptacji do istniejących warunków. Polega na aktywnym obserwowaniu tzw. dobrych praktyk, wykorzystywaniu szans, eliminowaniu ograniczeń. Można nawet stwierdzić, że przedsiębiorczość akademicka staje się elementem edukacji ustawicznej, warunkującej szeroki rozwój inicjatyw naukowych. Uczenie się współpracy grupowej, aktywność w przyjaznym dla innowatorów środowisku, pragmatyka stanowią fundament rozwoju nauki i biznesu. Konkludując, kreowanie przedsiębiorczości akademickiej dla tworzenia rozwiązań wspierających i kształtujących środowisko bezpieczeństwa, generowanie coraz to nowszych pomysłów są katalizatorem rozwoju społecznego, przyczyniają się do polepszania jakości życia człowieka; są niemalże potrzebą i wartością, które należy rozwijać oraz wspierać.

Praca powstała w ramach projektu „EUROSPIN: Zarządzanie własnością intelektualną – klucz do sukcesu w relacjach nauki z biznesem" finansowanego przez Unię Europejską w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego (2012-2014).

Literatura

[1] Morrison E., *Universities as Anchors for Regional Innovation Ecosystems*, *Ed Morrison's Garage. The birthplace of Strategic Doing*, http://www.edmorrison.com/universities-as-anchors-for-regional-innovation-ecosystems/ [dostęp: 09.05.2015].

[2] Wissema J.G., *Towards The Third Generation University*, Edward Elgar Publishing, Cheltenhalm 2009.

[3] Ustawa z dnia 27 lipca 2005 r. Prawo o Szkolnictwie Wyższym (Dz. U. 2005 Nr 164, poz. 1365).

[4] Matusiak K.B. (red.), *Innowacje i transfer technologii. Słownik pojęć,* PARP, Warszawa 2011.

[5] Zięba R., *Instytucjonalizacja bezpieczeństwa europejskiego. Koncepcje – funkcjonowanie*, Warszawa 1999, 27.

[6] Wilczyński P.L., *Innowacje w zbrojeniach i obronności jako katalizator przemian technologicznych*, „Prace Komisji Geografii Przemysłu Polskiego Towarzystwa Geograficznego" 2012, 20, Uniwersytet Pedagogiczny, Kraków 2012, 128 [cyt. za:] Zarzecki T.W., *Arms diffusion: the spread of military innovation in the international system*, Routledge, New York 2002, 73-77.

[7] Strona internetowa Centrum Transferu Technologii Wojskowej Akademii Technicznej, http://www.ctt.wat.edu.pl/ [dostęp: 01.10.2015].

[8] Strona internetowa Akademii Obrony Narodowej, wpis z 25 marca 2014 r., www.aon.edu.pl [dostęp: 01.03.2015].

[9] Harvard University Office of Technology Development, *Inventor's Handbook*, Boston, MA 2009.

[10] Wissema J.G., *Technostarterzy, dlaczego i jak?*, PARP, Warszawa 2005, 10.

[11] Strona internetowa Harvard Office of Technology Department, http://otd.harvard.edu/ [dostęp: 02.05.2015].

[12] Strona internetowa Narodowego Centrum Badań i Rozwoju, http://www.ncbir.pl/programy-krajowe/bridge/bridge-alfa/ [dostęp: 07.05.2015].

[13] Strona internetowa Urzędu Patentowego rzeczypospolitej Polskiej, http://www.uprp.pl/czym-jest-wynalazek-i-wzor-uzytkowy/Lead05,720,2957,4,index,pl,text/ [dostęp: 07.05.2015].

[14] Sieniewska B., *Otwarty model innowacji – nowe podejście do działalności badawczo-rozwojowej,* materiały pokonferencyjne PTZP Konferencja Innowacje w Zarządzaniu i Inżynierii Produkcji, Zakopane 2010, 451.

[15] Makulska D., *Kluczowe czynniki rozwoju w gospodarce opartej na wiedzy*, [w:] *Pomiędzy polityką stabilizacyjną i polityką rozwoju. Prace i Materiały Instytutu Rozwoju Gospodarczego SGH*, J. Stacewicz (red.), IRG SGH, Warszawa 2012, 178-179.

[16] Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości, *Dlaczego warto wykorzystywać popytowe podejście do tworzenia innowacji? Wnioski ze spotkań Klubu Innowacyjnych Przedsiębiorstw*, Warszawa 2012, s. 14. [dok. elektr.] http://www.parp.gov.pl/files/74/81/545/20508.pdf [dostęp: 12.05.2015].

[17] Strona internetowa Uczelnianego Centrum Badawcze Obronności i Bezpieczeństwa w Politechnice Warszawskiej, http://cboib.pw.edu.pl/ [dostęp: 21.08.2015].

[18] Strona Internetowa Innowacje, http://innowacje.eu/index.php/innowacje/badania_rozwoj/618/szko%C5%82a-g%C5%82%C3%B3wna-s%C5%82u%C5%BCby-po%C5%BCarniczej [dostęp: 12.04.2016].

[19] Strona internetowa Wojskowego Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji, http://wcnjk.wp.mil.pl/pl/20.html [dostęp: 21.08.2015].

[20] *Safety at work videos*, http://camelotproject.eu/wp-content/uploads/2014/11/WP2.1_MachinimaforFieldTesting.pdf [dostęp: 24.03.2016].

[21] Wantoch-Rekowski R., Roguski J., Błogowski M., *Możliwości wykorzystania symulatorów w szkoleniu operatorów bezzałogowych statków powietrznych w zakresie działań ratowniczo-gaśniczych*, BiTP Vol. 41 Issue 1, 2016, pp. 75-83.

[22] Młynarczyk M., Maciejewski P., Szerszeń M., *CBRN and SI Promień – Comparison of the Functionality of the Software for the Assessment contamination*, BiTP Vol. 40 Issue 4, 2015, pp. 133-138.

* * *

dr Małgorzata Gawlik-Kobylińska – absolwentka Uniwersytetu Warszawskiego, Szkoły Wyższej Psychologii Społecznej oraz Akademii Obrony Narodowej. Uczestniczyła w zagranicznych stażach naukowych na temat innowacji w zakresie TIK w edukacji dla bezpieczeństwa i obronności (ADL Co Lab w Orlando, Uniwersytet Harvarda w Bostonie oraz Uniwersytet w Almerii). Jej zainteresowania skupiają się wokół tematyki nowych technologii, komercjalizacji wyników badań naukowych, współpracy nauki z biznesem w obszarze szeroko pojętego bezpieczeństwa. Brała udział w międzynarodowych przedsięwzięciach dotyczących tworzenia innowacyjnych rozwiązań w zakresie edukacji i szkolenia – NATO Task Group for Individual Training & Education Developments, Central European Forum on Military Education.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 23–29

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.2

dr hab. inż. **Jarosław Prońko,** prof. UJK[1]
mgr **Beata Wojtasiak**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 25.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 10.11.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Znaczenie cech menedżera projektu i członków zespołu projektowego[3]

The Significance of Project Manager's Attributes and Those for Members of a Project Team

Значение характера менеджера проекта и членов проектной группы

ABSTRAKT

Cel: Przedstawienie istoty i uwarunkowań kierowania zespołem projektowym, a na tym tle identyfikacja pożądanych cech kierownika i członków zespołu projektowego.
Wprowadzenie: Mianem projektu określamy najczęściej antycypację przyszłych aktywności nakierowanych na osiągnięcie zamierzonego celu. Projekt to nie tylko opis przyszłych działań, ale przede wszystkim wyobrażenie celu, który zamierzamy osiągnąć. Stąd też jego atrybutami są: zdefiniowanie w czasie, niepowtarzalność, złożoność i celowość. Projektowe podejście do rozwiązywania skomplikowanych problemów technicznych czy społecznych wynika z wysokiej efektywności projektów oraz ryzyka, jakim są obarczone. Te dwie cechy wskazują na kluczowe znaczenie kierownika projektu i zespołu projektowego. W niniejszym artykule autorzy naszkicowali istotę projektu i problemy związane z kierowaniem nim. Omówiono rolę kierownika projektu jako głównego decydenta odpowiedzialnego za prawidłowy przebieg realizacji projektu oraz wymieniono główne cechy osobowościowe, jakie powinny go charakteryzować. Do osiągnięcia celu kierownikowi potrzebne jest jednak zaangażowanie i solidne wsparcie pozostałych członków projektu. Dlatego też powinien mieć duży wpływ na ich rekrutację i selekcję. Poza charyzmą, kierownika zespołu powinna również cechować umiejętność słuchania oraz poczucie odpowiedzialność zarówno za realizację projektu, jak i członków zespołu projektowego. Ze względu na jednorazowość projektu, wysoki stopień ryzyka, a w szczególności dążenie do maksymalizacji efektywności działań, bardzo duże znaczenie mają motywacja, zaangażowanie i chęć współpracy członków zespołu projektowego. Tworzenie takiego zespołu jest zadaniem trudnym, chociażby ze względu na ograniczenia czasowe, jest ono jednak podstawowym warunkiem przyszłych sukcesów. Ta niełatwa rola przypada kierownikowi projektu.
Metodologia: Analiza literatury przedmiotu, wnioskowanie z doświadczeń i obserwacji.
Wnioski: Kierownik projektu oprócz przygotowania merytorycznego i umiejętności zarządzania powinien posiadać cechy predysponujące go na przywódcę – ustanowionego nie z racji zajmowanego stanowiska, ale autentycznego uznania przez członków zespołu. Taki stosunek przełożonego do podwładnych i vice versa daje kierownikowi ogromny potencjał władzy i wyzwala w członkach zespołu silną motywację do skutecznego działania. Tworzy również specyficzny związek między członkami zespołu oparty na pełnym zaufaniu i szczerości. Tworzenie takiego zespołu jest trudne, aczkolwiek możliwe.

Słowa kluczowe: zarządzanie, menedżer, projekt, grupa projektowa
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Aim: To identify aspects and conditions for managing a project team and, in that context, identification of desired attributes for a team leader and team members.
Introduction: In the main, a project identifies an anticipated course of action and provides a focus for the attainment of a goal. A project report is not only a description of future activities, but above all, a view representing an achievement of a desired outcome. Its attributes include: definition of time scale, uniqueness, complexity and purpose. A high quality and effective project outcome is dependent on a creative approach to solving complicated technical or social problems coupled with an ability to address inherent risks. These two features reveal the key role played by a project manager and project team. The article outlines the essence of a project and issues associated with its management. The role of a project manager is described as the main decision-maker responsible for the smooth running of the project and the illustration identifies key personal attributes which he should possess. However, a project manager is unlikely to achieve much without the commitment and

[1] Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach / Jan Kochanowski University in Kielce;
[2] Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute, Poland; bwojtasiak@cnbop.pl;
[3] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.2

strong support from remaining team members. For this reason he should have a significant influence on the recruitment and selection of team members. Apart from charisma, the team leader should possess listening skills and a sense of responsibility for the project as well as members of the team. Because of uniqueness associated with each project, high degree of inherent risk and, in particular, the desire to maximise on effectiveness, motivation plays a major part in project development, as well as commitment and willingness to co-operate among team members. Creating such a team is a difficult task, if only because of time constraints, however, it is a fundamental pre-requisite for future success. The role of a project manager is challenging.
Methodology: Critical literature review and deductions from experience and observation.
Conclusions: Apart from essential organisation and management skills, a project manager should have the attributes of a leader. He should lead, not because of appointment to the post, but by genuine acceptance from team members. Such a relationship, between superior and subordinates and vice versa, gives a manager considerable potential for authority and generates a strong incentive for effective performance. Simultaneously, this creates a specific relationship among team members based on complete confidence and integrity. The creation of such a team is difficult, but not impossible.

Keywords: management, manager, project, project team
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Представить суть и условия руководства проектной группой и определить на основе этого желаемые черты характера для менеджера и членов проектной группы.
Введение: Проектом называют чаще всего начало будущей деятельности, направленное на достижение поставленной цели. Проект – это не только описание будущих действий, но, прежде всего, представление идеи, которую мы намерены достичь. Следовательно, к составляющим проекта относятся: временные рамки, уникальность, сложность и целенаправленность. Проектный подход к решению сложных технических или социальных проблем связан с высокой эффективностью проектов и рисков, которым они подвержены. Эти две особенности указывают на исключительную важность менеджера проекта и проектной группы. В этой статье авторы изложили суть проекта и вопросы, связанные с его управлением. Рассмотрена роль менеджера проекта как главного лица, ответственного за ход реализации проекта, а также перечислены основные черты характера, которыми он должен обладать. Менеджеру необходима также сильная поддержка со стороны других членов проекта, следовательно, он должен иметь большое влияние на их рекрутацию и выбор. Кроме харизмы, руководитель проектной группы должен также уметь слушать и нести ответственность как за реализацию проекта, так и за членов проектной группы. Из-за одноразового характера проекта, присутствия высокого уровеня риска, и, в частности, желания максимизировать эффективность действий, очень большое значение имеют: мотивация, участие и готовность к сотрудничеству с членами проекта. Создание такой группы является трудной задачей хотя бы из-за нехватки времени, однако, является основным условием для будущего успеха. Эта сложная роль является заданием менеджера проекта.
Методология: Анализ предметной литературы, заключение на основе опыта и наблюдений.
Выводы: Менеджер проекта кроме мериторической подготовки и управленческих навыков должен обладать чертами характера лидера. Он должен быть лидером не из-за своей должности, а благодаря признанию членов группы. Такое отношение управляющего к подчиненным и наоборот дает менеджеру огромный потенциал для управления и вызывает у членов группы сильный стимул для эффективной работы. Оно также создает особые отношения между членами группы, основанные на полном доверии и честности. Создание такой группы сложное, но возможное.

Ключевые слова: руководство, менеджер, проект, проектная группа
Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Przemiany ustrojowe, przy postępującej jednocześnie globalizacji gospodarki, wymagają od uczestników tych procesów ciągłej adaptacji. Podstawowym czynnikiem, od którego w coraz większej mierze w zmieniającym się otoczeniu zależą sukcesy organizacji, staje się potencjał ludzki. Ma on obecnie kluczowe znaczenie w rozwoju firmy [1, s. 13]. To dzięki kwalifikacjom i umiejętnościom pracowników, a przede wszystkim ich zaangażowaniu w realizację powierzonych zadań, organizacja zyskuje na sile. O stopniu zaangażowania pracowników decyduje kadra kierownicza. To ona pozyskuje ludzi o pożądanych kwalifikacjach i to od niej zależy, czy stosowany przez nią system motywacji pozwala utrzymać pracowników, a przede wszystkim zintegrować ich z firmą. Organizacja XXI wieku musi sprostać określonym warunkom. Oczekuje się od niej, by była innowacyjna, zdolna do natychmiastowych zmian i szybkiej adaptacji. Stworzenie pożądanego wizerunku jest możliwe, jeśli ludzie pracujący w organizacji będą również szybko dostosowywać się do zmian, przejawiać inicjatywę, będą potrafili pracować w grupie, a przede wszystkim jeśli będą mieli świadomość współuczestnictwa w sukcesie firmy. Sprostanie wyzwaniom współczesności wymaga zmiany sposobu myślenia zarówno zarządzających, jak i pracowników wykonawczych. Należy zwrócić szczególną uwagę na fakt, że elementarnym warunkiem pozytywnej aktywności, motywacji oraz właściwego poziomu zaangażowania pracowników organizacji jest znajomość postawionych przed nimi zadań. Tylko właściwe wykorzystanie tych cech przez organizację, a ściślej przez kierowników i menedżerów, pozwoli na osiągniecie wytyczonych celów. Zarządzanie można więc porównać do wędrówki przez chaos, konstruowania rzeczywistości z dostępnych zarządzającemu elementów: pomysłów, ludzi i relacji między nimi [2]. Rola kierownika polega na wytyczeniu celów, mobilizacji zespołu do ich osiągnięcia oraz na stworzeniu zespołowi organizacyjnych i materialnych warunków działania. Potrzeba takich liderów, którzy będą potrafili wyzwolić w pracownikach inicjatywę, którzy z pasją podejmą się realizacji zadań i będą potrafili pociągnąć za sobą innych. Należy pamiętać, że nie ma idealnych osób – zarówno wśród pracowników, jak i kierowników. Nie ma też idealnie działającego zespołu projektowego. Motywacja i determinacja do pozyskania wiedzy z nowego obszaru stanowi pierwszy krok do właściwej realizacji projektu. W niniejszym artykule zostanie przeprowadzona analiza najważniejszych cech, jakimi powinien charakteryzować się każdy menedżer, kierownik nowego przedsięwzięcia. Zaprezentowane zostaną również pożądane cechy członków zespołu projektowego, które w zdecydowany sposób wpływają na efekty końcowe projektów, realizowanych przez organizacje.

2. Projekt

Istota projektu i zarządzania nim jest przedmiotem rozważań w licznych publikacjach [3]. Niemal każde działanie

można określić mianem projektu. Przyjmuje się, że projekt to przedsięwzięcie złożone, niepowtarzalne, kompleksowe, mające swój określony początek i koniec, zakończone osiągnięciem założonego na wstępie celu [4]. Projekty określa się jako przedsięwzięcia, czyli zorganizowane ciągi działań ludzkich, zmierzające do osiągnięcia założonego wyniku [3]. „Przedsięwzięcie – według definicji prakseologicznej – to działanie złożone, wielopodmiotowe, przeprowadzane zgodnie z planem, który ze względu na skomplikowanie bywa sporządzany przy pomocy specjalnych metod" [5, s. 193]. Takie działanie jest niczym innym, jak realizacją zadania zgodnie z przyjętym planem, harmonogramem, budżetem. Projekt, to właśnie zbiór czynności podejmowanych w celu osiągnięcia jasno określonych celów, w wyznaczonym czasie i za pomocą przeznaczonego na to budżetu [3]. Właściwa, terminowa, poprawna merytorycznie i zgodna z zaplanowanymi środkami finansowymi realizacja jest ważna w każdym przedsięwzięciu. Wszelkie działania w firmie powinny służyć osiąganiu jej celów [6, s. 15].

Samo pojęcie projektu jest dość trudne do zdefiniowania i wyróżnienia go spośród innych rodzajów ludzkiej aktywności. Ogólnie możemy stwierdzić, że projekt (w sensie realizacji) to złożone działanie o charakterze jednorazowym, podejmowane dla osiągnięcia z góry określonych celów. Jednakże już w sferze metod zarządzania projektami wyróżniamy trzy podstawowe ich klasy:

- klasyczne – kiedy cel i sposoby realizacji projektu są jasno określone,
- adaptacyjne – kiedy cel jest jasno określony, a sposoby jego osiągnięcia słabo,
- ekstremalne – kiedy zarówno cel, jak i sposoby jego osiągnięcia są słabo określone [7].

Opierając się jedynie na tym podziale, należy skonstatować, że determinantą projektu jest jego jednorazowość i innowacyjność oczekiwanych efektów. Stąd też z jego realizacją związany jest wysoki stopień niepewności osiągnięcia zamierzonych celów.

Realizacja projektu jest dużym wyzwaniem, często złożonym przedsięwzięciem niosącym ze sobą szereg różnorodnych ryzyk i problemów. Projekty są często niepowtarzalne, wysoce złożone, określone, co do terminu ich realizacji, rozciągnięte znacznie w czasie; wymagają zaangażowania znacznych, lecz limitowanych środków rzeczowych, ludzkich i finansowych; są realizowane przez zespół wysoko wykwalifikowanych specjalistów z różnych dziedzin; wiążą się z wysokim ryzykiem [8] technicznym, organizacyjnym i ekonomicznym, a także wymagają w związku z tym zastosowania specjalnej wiedzy do ich przygotowania i realizacji [3].

Zarządzanie projektami należy rozumieć jako zespół logicznie uporządkowanych czynności dotyczących realizacji podstawowych funkcji zarządzania, czyli planowania, organizowania, motywowania i kontroli, których zastosowanie zmierza do realizacji postawionego przez inicjatora celu: stworzenia nowego wyrobu lub usługi [9].

W ujęciu klasycznym zarządzanie projektem obejmuje pięć faz:

- inicjację,
- planowanie,
- wykonywanie,
- monitorowanie,
- zakończenie projektu [7].

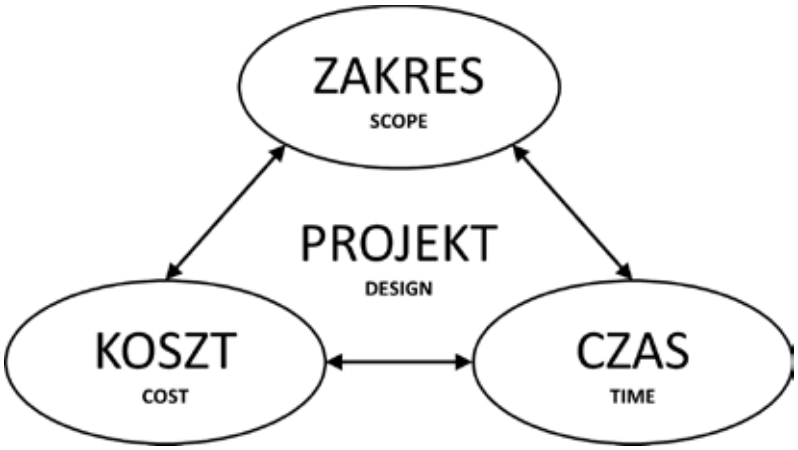
Inicjatorem projektu może być każda osoba lub instytucja, która pragnie osiągnąć określony cel. Niemożność lub nieopłacalność samodzielnego osiągnięcia określonych efektów prowadzi do poszukiwania innego sposobu jego realizacji, często związanego z zaangażowaniem innych podmiotów, instytucji lub osób prywatnych. Najczęściej inicjatorami projektów są instytucje rządowe, pozarządowe lub międzynarodowe organizacje, desygnujące na osiągnięcie zakładanych celów konkretną kwotę pieniędzy.

Dokumentem inicjującym jest zakres projektu definiujący jego granice w sensie efektu jaki pragniemy uzyskać. Opis ten powinien być jak najbardziej precyzyjny i zrozumiały dla pozostałych interesariuszy. Pochodnymi zakresu projektu są jego koszty, przewidywane lub możliwe do wyasygnowania nakłady oraz ramy czasowe lub bezwzględny czas zakończenia projektu. Te trzy zasadnicze elementy (parametry) tworzą tak zwany magiczny trójkąt projektu (patrz ryc. 1.), określający jego ramy.

Planowanie projektu może być realizowane w dwojaki sposób, zależny od stopnia innowacyjności efektu:

- opracowanie szczegółowego planu całego projektu (na przykład: metodyka PMBoK – preferowana w USA),
- podział projektu na etapy i szczegółowy plan dla etapu pierwszego, pozostałe etapy jedynie zarysowane (na przykład metodyka PRINCE 2 – preferowana w Wielkiej Brytanii) [7].

Przystępując do realizacji projektu, każda organizacja staje przed trudnym pytaniem: jak osiągnąć sukces, tj. jakie działania podjąć, aby zrealizować nadrzędny cel projektu w określonym czasie, w ramach określonych kosztów i przy zachowaniu wymaganej jakości? Niewątpliwie, znajomość narzędzi i technik gwarantuje sukces i powodzenie. Wpływają na nie również (a może przede wszystkim) prawidłowy i odpowiedni nadzór. Kluczowe znaczenie dla sukcesu projektu przypisuje się zatem menedżerowi projektu, jego wiedzy i kompetencjom, przejawiającym się w umiejętności wydobywania najlepszych elementów z pracy zespołowej. Warto również podkreślić, że na realizację projektu ma wpływ dobrze dobrany zespół projektowy oraz czynniki zewnętrzne.



Ryc. 1. Parametry projektu [7, s. 341]
Fig. 1. Project parametres [7, s. 341]

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.2

Nie budzi wątpliwości stwierdzenie, że dla każdego projektu, ze względu na jego specyfikę oraz zakres, można wskazać wiele czynników i uwarunkowań, które będą miały większy lub mniejszy wpływ na jego realizację. Należy wyraźnie zaznaczyć, że kluczowych czynników sukcesu nie można traktować jako zbioru rozłącznych elementów – konieczne jest kompleksowe spojrzenie, dostrzeganie wzajemnych interakcji oraz sprzężeń zwrotnych zachodzących pomiędzy nimi.

3. Rola, cechy i umiejętności kierownika projektu

Ważną rolę w projekcie odgrywa kierownik (menedżer) zespołu projektowego, który odpowiedzialny jest za jego realizację. Umiejętność tworzenia zespołu i kierowania nim stanowią niezbędną kompetencję, jaką powinien posiadać kierownik projektu. To właśnie od trafnego doboru członków, sposobu delegowania zadań, podejmowanych decyzji, czy też prowadzonej komunikacji zależy właściwa realizacja projektu. Z punktu widzenia efektywności pracy zespołu projektowego istotna jest ścisła współpraca między kierownikiem a członkami zespołu. Nie należy zapominać, że to kierownik powinien pełnić nadrzędną rolę w stosunku do swoich współpracowników, wywierając na nich taki wpływ, aby powierzone zadania były przez nich skutecznie realizowane.

Obecnie kładzie się nacisk na poszukiwanie nowego typu przywódcy, nie kierownika ani dyrektora. Jego zadaniem jest opracowanie właściwego planu realizacji projektu oraz sprawne kierowanie i koordynowanie pracy członków zespołu [10]. Powinien posiadać całościową wizję realizacji projektu oraz cechy przywódcy potrafiącego zmobilizować członków zespołu do pełnego zaangażowania w realizację projektu. Warto również w tym miejscu przypomnieć warunki skutecznego kierowania zespołem, do których należą:

- reprezentowanie odpowiedniej postawy,
- posiadanie władzy,
- posiadanie umiejętności wypełniania funkcji kierowniczych,
- chęć kierowania [3].

Szczególnie ważne i kluczowe z punktu widzenia realizacji projektu jest zdefiniowanie, jakie cele i zadania powinny zostać osiągnięte i zrealizowane w ramach projektu, jakie są oczekiwania, priorytety, a także, jakimi zasobami dysponujemy (ludzie, infrastruktura, czas, informacje). W zależności od specyfiki zadań, kierownik projektu buduje sprawnie funkcjonujący zespół specjalistów odpowiedzialnych za poszczególne działania w projekcie. Istotnym elementem w pracy zespołu jest jego motywowanie, dlatego kierownik projektu powinien opracować system nagród za określone wyniki w pracy. Jasno sprecyzowane zasady wynagradzania pozytywnie wpływają nie tylko na wydajność pracy członków zespołu, ale przede wszystkim na zaangażowanie w realizację poszczególnych zadań projektowych, co bezpośrednio przekłada się na sukces całego przedsięwzięcia.

Ocena pracy grupy, a także poszczególnych jej członków, jest trudnym zadaniem, bezpośrednio związanym z oceną efektywności realizacji zadań. Dlatego też jeszcze przed rozpoczęciem pracy kierownik projektu powinien opracować system ewaluacji i poinformować zespół o kryteriach oceny.

Jedną z najwyżej cenionych umiejętności kierownika projektu jest zarządzenie czasem swoim i zespołu. Dlatego pożądane jest duże doświadczenie w wyznaczaniu priorytetów, rozpoznawaniu zadań ważnych i pilnych oraz delegowaniu uprawnień wynikających z ograniczenia czasowego projektu. Inaczej niż w przypadku zwykłych działań operacyjnych firmy, projekt musi być zrealizowany i zakończony w konkretnym terminie, co narzuca kierownikowi projektu ciągłe doskonalenie struktury czynności, szacowanie czasu ich realizacji, ustalanie powiązań między zadaniami i decydowanie, które z nich są naprawdę ważne.

Kierownik projektu musi określić role poszczególnych członków zespołu oraz zakres ich odpowiedzialności, a w czasie realizacji projektu motywować zespół do wspólnego wysiłku. Często na tym etapie przekształca się w lidera, który powinien skupić się na wzbudzeniu w swych pracownikach entuzjazmu i zaangażowania. Musi umieć dostosować się do sytuacji i mieć plan rozwiązania konfliktów, które mogą powstać w zespole lub między zespołem a otoczeniem.

Jako lider kierownik zespołu powinien wskazywać kierunki działań i motywować do ich realizowania. Powinien również umieć zdobyć szacunek i zaufanie – autorytet, który jest silnym źródłem władzy. W literaturze często przypisuje się znaczenie również takim cechom jak odwaga moralna, zaangażowanie, wrażliwość.

Kierownik projektu powinien opanować umiejętności[4] z wielu różnych dziedzin, a także wyróżniać się szczególnymi cechami charakteru. Do ważniejszych kierowniczych umiejętności zaliczyć także należy:

- umiejętności kierownicze,
- umiejętności organizacyjne,
- umiejętności biznesowe,
- bezkonfliktowość,
- umiejętności komunikacyjne,
- elastyczność,
- ogładę,
- mobilność,
- myślenie globalne [10].

Do ważnych kompetencji[5] [13] kierowniczych zaliczyć należy: duży zasób wiedzy i doświadczenia, opanowanie i uczciwość, posiadanie zdolności analitycznych i interpersonalnych, zdolność do przywództwa.

Należy również zwrócić szczególną uwagę na fakt, iż podstawowe decyzje „zarządcze" wiążą się z:

- ustaleniem długofalowych celów strategicznych i sposobów ich realizacji,
- planowaniem, czyli określaniem sekwencji przyszłych działań oraz środków niezbędnych do ich realizacji,
- ustaleniem zakresu, przedmiotu i metod kontroli, czyli sprawdzania zgodności rzeczywiście realizowanych działań i ich wyników z przyjętymi założeniami,
- decydowaniem o przebiegu procesów produkcyjnych w przedsiębiorstwach przemysłowych,
- organizowaniem, czyli grupowaniem zasobów materialnych i ludzkich oraz ustalaniem relacji między nimi,
- kierowaniem zachowaniami ludzkimi, czyli wyborem sposobów oddziaływania na uczestników [2].

4. Znaczenie cech członków zespołu projektowego

Przy realizacji projektu może występować wiele różnorodnych problemów, które wymagają od zespołu projektowego podjęcia odpowiednich działań. Otwartość, pomysłowość, kreatywność, umiejętność współpracy, odpowiedzialność i przedsiębiorczość członków zespołu projektowego mają niewątpliwie bardzo duży wpływ na skuteczność pokonywania napotykanych przeszkód w realizacji zadań projektowych.

[4] Umiejętność to praktyczna znajomość czegoś, biegłość w czymś [14].

[5] Kompetencje według SJP, PWN [15] to zakres uprawnień lub też zakres czyjeś wiedzy, umiejętności i doświadczenia. Różnica między pojęciami: kompetencje i umiejętności tkwi raczej w kategoryczności – kompetencje to zdolność do wykonywania czegoś. Mogą one wynikać z zakresu obowiązków, uprawnień, wiedzy, umiejętności, itp.). Jeżeli wynikają one jedynie z zakresu umiejętności, niepotwierdzonej uprawnieniami, to wówczas pojęcia te możemy stosować zamiennie.

Ważne są kompetencje merytoryczne, jakie posiadają członkowie zespołu projektowego, ale one same nie są wystarczającym warunkiem do efektywnej pracy w zespole projektowym. Nie każdy może i nie każdy powinien pracować w zespołach projektowych. Poza kompetencjami merytorycznymi pożądane są określone cechy charakteru zarówno członków, jak i kierownika zespołu projektowego. Wskazane jest angażowanie do zespołów projektowych osób charakteryzujących się odpowiednimi cechami osobowości, predyspozycjami, przejawiających określone typy zachowań, dzięki którym możliwe jest spójne współdziałanie wszystkich członków oraz sprawna i efektywna realizacja danego zadania.

Na kompetencje członków zespołu projektowego składają się umiejętności, wysokie kwalifikacje formalne, poczucie odpowiedzialności, dynamizm [3]. Dlatego w budowaniu efektywnego zespołu projektowego najważniejsze jest zrozumienie kwalifikacji, motywacji, słabych i silnych stron jego członków. To zróżnicowanie i dobór, niekiedy na zasadzie przeciwieństw, pozwala stworzyć zespół silny i elastyczny, w którym każdy będzie miał swoje ściśle określone miejsce, aby móc w sposób rzetelny osiągać zakładane cele.

Zadania, które przekraczają możliwość wykonania przez jednostkę w określonym czasie, muszą być podzielone na fragmenty, realizowane równolegle przez poszczególnych członków zespołu. Gdy zadania nie można podzielić na niezależne fragmenty lub są one ze sobą ściśle powiązane, w zespole konieczna jest uporządkowana i przemyślana współpraca. Dlatego też działanie liderów powinno, między innymi, polegać na uwzględnieniu indywidualnych cech osobowościowych i dobieraniu do realizacji projektu jak najbardziej kompetentnych pracowników, aby maksymalizować prawdopodobieństwo osiągnięcia sukcesu. Właściwy dobór członków zespołu projektowego pod względem cech osobowości: umiejętności pracy w zespole, łatwości i kreatywności rozwiązywania problemów, nastawieniu na współpracę, dzielenie się wiedzą, w znaczący sposób wpływa na efekt projektu.

Według znawców zagadnienia zespół (team) jest czymś więcej niż tylko grupą ludzi dostrzegających, że mają wspólny cel. Zespół jest zbiorem ludzi, którzy muszą polegać na skumulowanej wiedzy, umiejętnościach i talentach każdego z wzajemnie zależnych członków zespołu. Efekt pracy zespołu można najlepiej wyjaśnić, wykorzystując pojęcie synergii. Dzięki efektywnej wspólnej pracy zespół może znaleźć rozwiązania problemów, które są znacznie lepsze od tych, jakie mogłyby być stworzone przez każdego z członków zespołu indywidualnie.

Zbudowanie spełniającego oczekiwania zespołu, wymaga uwzględnienia pewnych istotnych czynników:

- statutu, misji, przyczyny wspólnej pracy,
- poczucia zależności,
- udziału w korzyściach grupowego rozwiązywania problemu i podejmowania decyzji.

Po pierwsze grupa musi mieć statut (akt powołania) lub przyczynę, aby pracować wspólnie. Po drugie członkowie grupy muszą dostrzegać, że potrzebują wzajemnie swoich doświadczeń i możliwości, aby wspólnie osiągnąć cele. Po trzecie muszą być także przekonani do idei, że ich wspólna praca, jako zespołu, prowadzi do lepszych efektów niż praca w izolacji. Partycypacja w planowaniu i podejmowaniu decyzji pomaga członkom zespołu stworzyć poczucie wspólnoty i zaangażowania w osiąganie celów oraz wykonywanie zadań. Członkowie zespołu muszą być traktowani z uwzględnieniem specjalnych talentów i zdolności, jakie wnoszą do zespołu i muszą być zachęcani do aktywnej współpracy. Członkowie zespołu z pomocą kierownika rozpoznają swoje specyficzne role i funkcje w obrębie struktury zespołu i uświadamiają sobie, że poprzez integrację tych ról mogą zostać osiągnięte cele projektu, ale też znają swoje ograniczenia.

Komunikacja powinna charakteryzować się szczerością i zaufaniem oraz chęcią słuchania i wzajemnego zrozumienia. Celem słuchania jest zrozumienie, a nie przygotowanie obrony lub ataku. Należy mieć świadomość, że w zespole projektowym nie rywalizuje się z pozostałymi członkami o uznanie kierownika, czy większe korzyści, ale współpracuje się dla wspólnego dobra – osiągnięcia zamierzonych celów. Głównym motywatorem działania powinno być pragnienie rozwiązywania pojawiających się problemów optymalizujące wysiłki zespołu zmierzające do osiągnięcia celu głównego. Nie łatwo jest unikać silnych emocji, gdy pracuje się pod presją. Warto jednak mieć świadomość, że pod ich wpływem, znacznie trudniejsze jest rozwiązywanie problemów, znalezienie sedna sprawy.

Kryteria doboru członków powinny wynikać z zadań stawianych przed zespołem projektowym oraz osobistych predyspozycji i posiadanych kompetencji. Delegowanie zadań zgodnie z wiedzą, umiejętnościami oraz osobowością poszczególnych członków zapewni terminową i efektywną ich realizację. Błędne wyznaczenie ról w zespole może natomiast skutkować konfliktami i pojawianiem się sytuacji kryzysowych opóźniającymi przebieg projektu.

Przez proces doboru należy rozumieć etap procesu kadrowego, który dotyczy pozyskania zasobów ludzkich niezbędnych do realizacji projektu. Jest on poprzedzony procesem planowania, w którym określa się, na podstawie zakresu projektu oraz przewidzianych dla niego warunków działania, potrzeby kadrowe [10]. Uwzględniają one zarówno bieżące potrzeby, jak i plany na przyszłość. Idea pracy zespołowej bazuje na efekcie synergii.

W przypadku zarządzania projektem planowanie personelu dotyczy w większości bieżących potrzeb, ze względu na określony czas realizacji projektów. Warto zacząć od ustalenia: ile osób zatrudnić? jakie osoby zatrudnić i na jaki okres? Dobór członków zespołu powinien być poprzedzony określeniem charakteru zadań cząstkowych, które będą wykonywane w trakcie realizacji przedsięwzięcia, co prowadzi do stworzenia odpowiedniego wyobrażenia o poszukiwanym kandydacie. Ważne jest opisanie stanowiska pracy. Kolejnym krokiem jest sformułowanie zakresu wymagań i kwalifikacji pracownika. Oba te elementy usprawniają proces selekcji pracowników do zespołu projektowego.

W przypadku kompletowania zespołu projektowego najczęściej wykorzystuje się dobór zamknięty (kandydaci nie znają kryteriów i zasad doboru), oparty na wewnętrznych źródłach rekrutacji i na metodach doboru segmentowego (cechy kandydata są precyzyjnie określone wraz z segmentem rynku pracy), gdyż wymagania wobec członków zespołów są wysokie.

Najczęściej stosowane techniki selekcji, służące do ustalenia poziomu realizacji przez kandydata poszczególnych wymagań, to:

- analiza dokumentów kandydata,
- indywidualna rozmowa kwalifikacyjna,
- przesłuchanie przez komisję kwalifikacyjną,
- techniki psychologiczne (rozmowy lub testy),
- technika konkursowa,
- „ośrodki oceny" (*assessment centers*) [10].

Ważne jest, aby pamiętać, że im mniej skomplikowany i wymagający jest projekt, tym bardziej proste metody selekcji należy stosować. Uproszczone procedury rekrutacji i selekcji nie znajdują jednak zastosowania w przypadku projektów skomplikowanych, o czasie realizacji liczonym w latach, jak np. budowa skomplikowanych obiektów inżynierskich, interdyscyplinarne programy badawcze i inne. W takich przypadkach system doboru działa tak jak w przedsiębiorstwach o stałym zatrudnieniu. Na etapie rekrutacji i selekcji członków zespołu projektowego popełnianych jest wiele błędów pole-

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.2

gających najczęściej na delegowaniu do zespołu osób, które są niepotrzebne w macierzystych komórkach organizacyjnych, źle pracujących, żeby znaleźć im „jakieś zajęcie". Drugim zasadniczym błędem jest delegowanie do pracy dobrych specjalistów mocno zaangażowanych w inne, czasochłonne zadania; co w głównej mierze prowadzi do konfliktu między dodatkowymi zadaniami a podstawowymi obowiązkami.

Pracę zespołową wdraża się w organizacjach w celu uzyskania efektów większych, niż można by osiągnąć w odniesionych do tego samego zadania w działaniach indywidualnych. Praca zespołowa stwarza takie szanse. To jednak, czy zespół będzie pracował dobrze i przynosił oczekiwane rezultaty, w dużej mierze zależy od tego, jakie zostaną podjęte decyzje już na etapie organizacji (tworzenia) zespołu. Bezwzględnie należy pamiętać, że zespół projektowy niestarannie budowany jest mało efektywny.

5. International Project Management Associaction (IPMA)

IPMA – to federacja stowarzyszeń krajowych popularyzujących wiedzę na temat zarządzania projektami i integrująca środowisko kierowników projektów. Powstała w 1965 roku w Szwajcarii pod nazwą International Management Systems Association (IMSA). Obecna nazwa została ustanowiona na 13. światowym kongresie zarządzania projektami w Paryżu (1996). Zrzesza obecnie 45 stowarzyszeń krajowych. Polskie stowarzyszenie o nazwie Stowarzyszenie Project Management Polska (SPMP) dołączyło do federacji IPMA w 1999 roku.

Jednym z ważniejszych zadań SPMP jest prowadzenie szkoleń i certyfikacji kierowników projektów, która odbywa się w oparciu Narodowe Wytyczne Kompetencji IPMA [12]. Wytyczne te zawierają podstawowe definicje, opis systemu certyfikacji oraz zakres kompetencji, jakie powinien posiadać kierownik projektu. Certyfikację prowadzi się według czterostopniowego systemu 4-L-C:

- Certyfikowany Dyrektor Projektów (Certified Projects Director – IPMA Level A). Oznacza, że dana osoba jest w stanie zarządzać ważnym portfelem lub programem, wraz z towarzyszącymi im zasobami, metodykami i narzędziami;
- Certyfikowany Starszy Kierownik Projektu (Certified Senior Project Manager – IPMA Level B). Oznacza, że dana osoba jest w stanie zarządzać złożonym projektem. Charakterystyczne w tym przypadku jest występowanie podprojektów, co oznacza, że kierownik projektu nie zajmuje się bezpośrednio prowadzeniem przedsięwzięcia, ale kieruje nim poprzez kierowników podprojektu;
- Certyfikowany Kierownik Projektu (Certified Project Manager – IPMA Level C). Oznacza, że dana osoba jest w stanie prowadzić przedsięwzięcia o ograniczonej złożoności, co potwierdza, że wykazała się odpowiednim poziomem doświadczenia oraz zdolnością do stosowania wiedzy z dziedziny zarządzania projektami;
- Certyfikowany Asystent ds. Zarządzania Projektami (Certified Project Management Associate – IPMA Level D). Oznacza, że dana osoba jest w stanie stosować wiedzę z dziedziny zarządzania projektami w przedsięwzięciach o dowolnej złożoności, brak jej jednak doświadczenia koniecznego do samodzielnego prowadzenia przedsięwzięcia o ograniczonej złożoności [12, s. 5].

Certyfikacja prowadzona jest w trzech obszarach kompetencji: technicznym, behawioralnym i kontekstualnym.

Kompetencje techniczne zawierają 20 elementów technicznych stanowiących sedno zarządzania projektami, stąd też niekiedy nazywane są twardymi kompetencjami. Należą do nich: sukces zarządzania projektem, interesariusze, wymagania i cechy projektu, ryzyka, zagrożenia i szanse, jakość, organizacja projektu, praca zespołowa, rozwiązywanie problemów, struktury projektu, zakres i produkty cząstkowe, czas i etapy projektu, zasoby, koszty i zasoby finansowe, zamówienia i kontrakty, zmiany, kontrola i raporty, informacje i dokumentacja, komunikacja, rozpoczynanie, zamykanie. Szczegółowe informacje dotyczące tych kompetencji znaleźć można na stronach 39-59 Narodowych Wytycznych Kompetencji IPMA [12]. Wiele z tych kompetencji, jak i kompetencji z pozostałych dwóch obszarów bez szczegółowego wyjaśnienia jest mało czytelnych. Ponadto większość z tych kompetencji wzajemnie się warunkuje i uzupełnia. Dlatego dla pełnego zrozumienia ich istoty należy zapoznać się z całością Narodowych Wytycznych Kompetencji IPMA.

W obszarze behawioralnym wymienia się 15 kompetencji opisujących osobowościowe postawy i umiejętności kierownika projektu. Należą do nich: przywództwo, zaangażowanie i motywacja, samokontrola, asertywność, odprężanie, otwartość, kreatywność, zorientowanie na wyniki, sprawność, konsultowanie, negocjowanie, konflikty i kryzysy, wiarygodność, docenianie wartości, etyka.

Obszar kontekstowy kompetencji opisuje te elementy, które mają znaczenie przy funkcjonowaniu kierownika projektu wewnątrz organizacji. Zalicza się do nich 11 kompetencji: orientacja na projekty; orientacja na programy; orientacja na portfele; wdrażanie systemu zarządzania projektami, programami, portfelami; stałe struktury organizacyjne; działalność gospodarcza; systemy, produkty i technologie; zarządzanie zasobami ludzkimi; zdrowie, ochrona, bezpieczeństwo i środowisko; finanse; prawo.

Szczegółowa analiza wymienionych powyżej kompetencji pokrywa się z opisanymi w niniejszym artykule. Jednakże w artykule skupiono się jedynie na najważniejszych kompetencjach kierownika projektu. Opis głównych kompetencji w Narodowych Wytycznych Kompetencji IPMA zajmuje 130 stron, których oczywiście streszczenie nie byłoby możliwe w ramach jednego artykułu.

6. Podsumowanie

Na temat zarządzania projektami, cech kierownika projektu, jego kluczowej roli w projekcie, jak również na temat zespołu projektowego napisano wiele publikacji. W niniejszym artykule podjęto próbę ukazania znaczenia świadomości kierownika projektu, że realizacja projektu jest zadaniem wymagającym od menedżera rozległej wiedzy, odpowiednich predyspozycji i umiejętności, jak również przekonania, że tylko pracownicy właściwie dobrani o najwyższych kwalifikacjach i umiejętnościach (np. charakteryzujący się kreatywnością i umiejętnością pracy w zespole) sprostają postawionym zadaniom. Należy zgodzić się również z opinią, że wiara kierownika projektu w siłę potencjału pracowników niewątpliwie wpłynie na powodzenie realizacji projektu. Jest istotne, aby pracownicy mogli zaangażować cała swoją osobowość, zgodnie z ich upodobaniami i predyspozycjami. Rolą właściwego zarządzania projektami jest zharmonizowanie działalności wykonawczej i wspierającej pomimo wszystkich trudności związanych z realizacją projektu oraz szerokiego zakresu realizowanych zadań. Świadomość menedżera o potrzebie delegowania uprawnień do pracowników, tak aby mieli oni możliwość odegrania swoich ról i wypracowania własnego wkładu, wpłynie na zakończenie powodzeniem projektu. Efekty z realizacji zaplanowanych projektów zależą również od jakości relacji między ludźmi, dlatego w zespole projektowym ważne jest zintegrowanie indywidualnych celów wszystkich uczestników i skojarzenie ich z celami projektu. W tym kontekście staje się jasne, dlaczego kierownik takiego zespołu musi posiadać odpowiednie kwalifikacje i doświadczenie. Z punktu widzenia efektywności pracy zespołu projektowego

istotna jest ścisła współpraca między kierownikiem a członkami zespołu. Tylko wzajemne przenikanie się i współzależność kierownika i członków zespołu przyczyni się do sukcesu. Wzajemne zrozumienie i zaufanie stanowi fundament, na których opiera się wyznaczony kierunek działań, wizja projektu i wspólna odpowiedzialność.

Literatura

[1] Janowska Z., *Zarządzanie zasobami ludzkimi*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2010.
[2] Koźmiński A.K., Piotrowski W., *Zarządzanie teoria i praktyka*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2001, 56.
[3] Trocki M., Grucza B., *Zarządzanie projektem europejskim*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2007, s. 13, s. 14, s. 18, s. 240.
[4] Klimiuk J., *Rola kierownika projektu oraz zespołu projektowego w zarządzaniu projektami*, BiTP Vol. 15 Issue 3, 2009, pp. 35-47.
[5] Kotarbiński T., *Sprawność i błąd*, PZWS, Warszawa 1970.
[6] Rutkowski A., *Zarządzanie finansami*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2007.
[7] Prońko J., *Wybrane aspekty zarządzania projektami*, „Studia i Materiały. Miscellanea Oeconomicae" 2009, 2, 337-348.
[8] Pritchard C.L., *Zarządzanie ryzykiem w projektach, Teoria i praktyka,* WIG-Press, Warszawa 2002 , s.18
[9] Świeżewski P., *Zarządzanie Zespołem Projektowym,* Centrum projektów informatycznych, [dok. eletr.] *http://administracja-projekt.wit.edu.pl/dokumenty/szkolenia/e-akademia/Zarz%C4%85dzanie-zespo%C5%82em-projektowym.pdf* [dostęp: 12.07.2013].
[10] Trocki M., Grucza B., Ogonek K., *Zarządzanie projektami*, Polskie Wydawnictwo Ekonomiczne, Warszawa 2003, s. 98, s. 102, s. 103, s. 104.
[11] Pszczółkowski T., *Mała Encyklopedia Prakseologii i Teorii Organizacji*, Ossolineum W-W-K-G, Warszawa 1978.
[12] *Polskie Wytyczne Kompetencji IPMA* wersja 3.0,* Wyd. Stowarzyszenie Project Management Polska, Gdańsk 2009.
[13] Kielin J., Zboina J., *Kwalifikacje i kompetencje w ochronie przeciwpożarowej,* [w:] (red.) J. Zboina, P. Garncarczyk, *Certyfikacja usług w ochronie przeciwpożarowej w ujęciu praktycznym i teoretycznym*, CNBOP-PIB, Józefów 2016.
[14] Internetowy słownik języka polskiego PWN, hasło: umiejętność, http://sjp.pwn.pl/slowniki/umiej%C4%99tno%C5%9B%C4%87.html, [dostęp: 17.11.2016].
[15] Internetowy słownik języka polskiego PWN, hasło: kompetencje, http://sjp.pwn.pl/slowniki/kompetencje.html, [dostęp: 17.11.2016].

* * *

dr hab. inż. Jarosław Prońko – profesor nadzwyczajny Instytutu Zarządzania Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach. Absolwent Politechniki Świętokrzyskiej i AON. Były oficer Nadwiślańskich Jednostek Wojskowych. Uczestnik akcji przeciwpowodziowej w 1997 r. Odznaczony Krzyżem Zasługi za Dzielność. W latach 1998–2001 Główny Specjalista w Biurze Spraw Obronnych MSWiA. Autor i współautor wielu prac z zakresu bezpieczeństwa powszechnego, zarządzania kryzysowego, problematyki podejmowania decyzji oraz analizy ryzyka w obszarze bezpieczeństwa powszechnego.

mgr Beata Wojtasiak – absolwentka Akademii Pedagogiki Specjalnej im. Marii Grzegorzewskiej w Warszawie (Wydział Nauk Pedagogicznych). W 2013 r. ukończyła studia podyplomowe Menedżer Innowacji w Szkole Głównej Handlowej w Warszawie. Aktualnie pracownik Jednostki Certyfikującej Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowego Instytutu Badawczego na stanowisku mł. specjalista inżynieryjno-techniczny.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 31–49

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

mł. bryg. mgr inż. **Robert Mazur**[1]
mł. bryg. dr inż. **Rafał Porowski**[2]
mł. bryg. mgr inż. **Wojciech Klapsa**[3]

Przyjęty/Accepted/Принята: 19.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 05.10.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Wybuchy zbiorników z gazami technicznymi – realne zagrożenie czy przejaskrawiony strach?[4]

Tank Explosions Involving Industrial Gases – a Real Threat or an Exaggerated Fear?

Взрывы резервуаров с техническими газами – реальная угроза или преувеличение?

ABSTRAKT

Cel: Artykuł stanowi wprowadzenie do problematyki wybranych gazów technicznych, takich jak wodór, acetylen, metan (gaz ziemny) i propan-butan (LPG). Przedstawiono w nim analizę i charakterystykę zagrożeń związanych z omawianymi gazami. Rozważania przeprowadzono na podstawie dostępnych statystyk z interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej oraz innych dostępnych źródeł danych.
Wprowadzenie: Szerokie spektrum zastosowania gazów technicznych pociąga za sobą wzrost ich popularności na rynku przemysłowym, technicznym i naukowym, co z kolei niesie ze sobą szereg niebezpieczeństw. Niniejszy artykuł stanowi wprowadzenie do problematyki poprzez charakterystykę ogólną właściwości wybranych gazów, algorytmów zdarzeń związanych z ich uwolnieniem (Jet Fire, BLEVE, FireBall, wybuchy UVCE, VCE). W głównej mierze publikacja poświęcona jest analizie wyników badań statystycznych, w oparciu o dostępne źródła danych krajowe (liczba interwencji, rodzaj wybuchów, poszkodowani, kategoria urazów związanych z zarejestrowaną obecnością gazów lub wybuchami) i międzynarodowe. Artykuł powstał na podstawie wyników badań otrzymanych podczas realizacji jednego z tematów projektu Narodowego Centrum Badan i Rozwoju pn. „Opracowanie metod neutralizacji zagrożenia wybuchu wytypowanych zbiorników z gazami technicznymi, w tym alternatywnymi źródłami zasilania w środowisku pożarowym na potrzeby ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych".
Metodologia: W publikacji można wyróżnić trzy zasadnicze części. W pierwszej autorzy wprowadzają czytelnika do problematyki gazów technicznych w sensie ich właściwości i potencjalnych zagrożeń. Część druga poświęcona jest charakterystyce wyników badań przeprowadzonych na bazie informacji ze zdarzeń z interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w latach 2000-2014, zaś trzecia przedstawia wyniki badań przeprowadzone w oparciu o inne dostępne, międzynarodowe źródła danych.
Wnioski: Wnioski z badań skupiają się w głównej mierze na uwypukleniu najistotniejszych elementów związanych z analizą zagrożeń dot. gazów technicznych oraz analizą danych statystycznych. W pierwszej części podsumowania zwrócono uwagę na właściwości pożarowo-wybuchowe gazów oraz rodzaj zagrożeń, jakie generują (promieniowanie cieplne, pożar strumieniowy – Jet Fire, wybuchy w przestrzeni ograniczonej i nieograniczonej – UVCE, VCE). W drugiej części podsumowania zwrócono uwagę na zasadność modyfikacji mechanizmów pozyskiwania, udostępniania i analizy danych statystycznych z interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej. Ponadto podkreślono częstotliwość interwencji, w których zarejestrowano obecność i wybuchy gazów technicznych, liczbę poszkodowanych wraz z najczęstszymi rodzajami urazów.

Słowa kluczowe: gazy techniczne, wybuchy butli, butle z gazami, statystyka wybuchów
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

The aim: This paper is an introduction to the subject of industrial gases such as hydrogen, acetylene, methane (natural gas) and propane-butane (LPG). It includes the analysis and characteristics of threats associated with the said gases. The deliberations are based on available statistical data on firefighting unit interventions and other available data sources.
Introduction: On the one hand the wide spectrum of the application of industrial gases enhances their popularity on industrial, technical and scientific markets, but on the other hand it is associated with a wide range of threats. This paper is a form of introduction to the subject covering the gases' properties and the event-tree related to such industrial-gas release as Jet Fire, BLEVE, FireBall, Unconfined Vapour Cloud Explosions, and

[1] Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej / The Main Headquarters of the State Fire Service in Poland;
[2] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service; rporowski@sgsp.edu.pl;
[3] Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy / The Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland;
[4] Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w powstanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

Vapour Cloud Explosions. However, the main goal of the paper is to publicise the findings on statistical research on hydrogen, acetylene, natural gas, and propane-butane, based on the Polish Incident Reporting System (industrial gases presence and their explosions, the type of explosions, the number of injured, the victims, and the types of injury) and also international databases. The paper is in the form of a report on scientific research - "The establishment of ways to neutralise the threat of the explosion of selected containers containing industrial gases, including alternative energy sources in the fire environment, for rescuers taking part in firefighting activities" funded by The National Centre for Research and Development.
Methodology: The paper includes three logical parts. The first is an introduction to the subject of industrial gases in terms of their properties and potential threats. The second part is focused on the main findings from statistical research based on the Polish Incidents Reporting System (2000-2014), while the third is based on international database research related to industrial gases.
Conclusions: The general conclusions on threats characteristics and statistical analysis are highlighted. The first part of the summary is focused on the most important aspect of threats like thermal radiation, JetFire, Unconfined Vapour Cloud Explosions, Vapour Cloud Explosions. The second part emphasises the general needs of changing the Incident Reporting System mechanism (involved with the industrial gases aspect too), and also the methods of acquisition and sharing data. Regarding the statistics, the frequency of State-Fire-Service incidents involving the presence of industrial gases and their explosions, the type of explosions, the number of injured, the victims and types of injury, are brought out.

Keywords: industrial gases, cylinder explosion, cylinder with gas, statistics of explosions
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Введение в проблематику некоторых технических газов, таких как водород, ацетилен, метан (природный газ), пропан-бутан (LPG). Анализ этих газов и характеристика угроз, которые проведены на основе имеющихся статистик из действий подразделений пожарной службы, а также других имеющихся источников данных.
Введение: Широкий диапазон применения технических газов влияет на то, что они становятся все более популярны на промышленном, техническом и научном рынках. Это в свою очередь вызывает ряд опасностей. Данная статья представляет собой введение в проблематику технических газов, заключающееся в общей характеристике качеств некоторых газов и алгоритмов событий, связанных с их выбросом (Jet Fire, BLEVE, Fireball, взрывы UVCE, VCE). В основном статья была посвящена анализу результатов статистических исследований, основанных на имеющихся источниках данных: национальных (количество действий, тип взрывов, раненные, категория травм, связанных с зафиксированным наличием газов или взрывами) и международных. Статья основана на результатах, полученных в ходе реализации одной из тем проекта NCBR под названием: „Разработка методов нейтрализации угрозы взрыва некоторых резервуаров с техническими газами, в том числе альтернативными источниками питания в пожарной среде на благо спасателей, участвующих в спасательно-гасящих действиях".
Методология: В статье можно выделить три основные части. В первой авторы знакомят читателя с вопросом технических газов с точки зрения их свойств и связанных с ними потенциальных угроз. Вторая часть посвящена характеристике результатов испытаний, проведенных на основе информации о действиях подразделений пожарных служб в 2000-2014 г.г., а третья представляет результаты исследований, проведенных на основе других имеющихся международных источников данных.
Выводы: Выводы из исследований были сосредоточены в основном на выделении наиболее важных элементов, связанных с анализом угроз, касающихся технических газов и анализом статистических данных. В первой части заключения было обращено внимание на пожарные и взрывные свойства газов и тип угроз, которые они вызывают (тепловое излучение, струйный пожар – Jet Fire, взрывы в ограниченном и неограниченном пространстве – UVCE, VCE). Во второй части заключения подчёркивается законность модификации механизмов сбора, распределения и анализа статистических данных о действиях подразделений пожарной службы. Кроме того, было обращено внимание на частоту действий, в которых было зарегистрировано наличие газов и взрывы технических газов, число раненых с указанием наиболее частых типов травм.

Ключевые слова: технические газы, взрывы баллонов, баллон с газом. статистика взрывов
Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

Gazy techniczne (GT) są to gazy lub mieszaniny gazów mające różnorodne zastosowanie w warunkach przemysłowych oraz w badaniach naukowych. Ich użycie staje się z roku na rok coraz bardziej powszechne. Należą do nich m.in.: acetylen, amoniak, argon, dwutlenek węgla, metan, hel, sprężone powietrze, tlen, tlenek węgla, wodór, propan-butan oraz gazy spawalnicze. Właściwości fizykochemiczne tych gazów sprawiają, że pod wpływem niewłaściwego użytkowania lub niekorzystnych warunków magazynowania (np. pożaru w pomieszczeniu z butlami), mogą one wywołać poważne zagrożenia. Większość gazów technicznych stanowią gazy palne klasyfikowane jako materiały skrajnie łatwopalne (R12[5], H220[6]), które w połączeniu z powietrzem tworzą mieszaniny wybuchowe lub gwałtownie spalają się w postaci pożarów nagłych (Flash Fire) lub strumieniowych (Jet Fire). Magazynowanie gazów w zbiornikach ciśnieniowych niesie za sobą zagrożenie rozerwania zbiornika pod wpływem zwiększają-

[5] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji chemicznych i ich mieszanin.

[6] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008.

1. Introduction

Industrial gases are gases or mixtures of gases which can be used in various ways for industrial or scientific research purposes. The use of such gases is becoming more and more widespread. Among the industrial gases we can identify: acetylene, ammonia, argon, carbon dioxide, methane and helium, compressed air, oxygen, carbon monoxide, hydrogen, propane-butane and welding gases. Due to their physicochemical properties, they pose a real threat in cases of their misuse or adverse conditions while storing, for example a fire in the room in which the gas cylinders are stored. Most industrial gases are flammable gases, classified as extremely flammable (R12[1], H220[2]) which, in combination with air, create explosive mixtures or combust instantly in the form of a flash fire or a jet fire. The storage of gases in pressure vessels poses a risk of the tank's rupturing, due to the increase in internal pressure, leading to a physical explosion. From the viewpoint of

[1] The Regulation of the Ministry of Health of 10 August 2012 on the criteria for and classification of chemical substances and their mixtures.

[2] Regulation of the European Parliament and of the Council No. 1272/2008.

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 31–49
DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

cego się ciśnienia wewnętrznego, czyli wystąpienia wybuchu fizycznego. Z punktu widzenia prowadzenia akcji ratowniczo-gaśniczej ważna jest również wiedza na temat gęstości gazu względem powietrza, która determinuje sposób dyspersji w powietrzu.

Mając na uwadze powyższe, na lata 2014-2017 konsorcjum złożone ze Szkoły Głównej Służby Pożarniczej, Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowego Instytutu Badawczego, Politechniki Gdańskiej, Politechniki Warszawskiej oraz firmy Corona zaplanowało realizację projektu badawczego pt. „Opracowanie metod neutralizacji zagrożenia wybuchu wytypowanych zbiorników z gazami technicznymi, w tym alternatywnymi źródłami zasilania w środowisku pożarowym na potrzeby ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych". Głównym celem projektu jest opracowanie zabezpieczeń dla ratowników biorących udział w działaniach ratowniczo-gaśniczych z udziałem gazów technicznych.

Analiza wybranych pozycji literaturowych wykazała, że w ostatnich latach coraz częściej zwraca się uwagę na zagrożenia, jakie stwarzają palne gazy techniczne przechowywane w butlach oraz na prawidłowy sposób obchodzenia się z nimi podczas pożarów. Na uwagę zasługuje pozycja *Postępowanie podczas zdarzeń z udziałem butli acetylenowych poddanych działaniu ognia, ciepła lub wielokrotnym uderzeniom* autorstwa T. Jopka [1]. Niemniej jednak szczegółowe standardy postępowania ratowników z butlami z gazami technicznymi jak dotąd opracowano jedynie dla butli acetylenowych [2].

Na potrzeby realizacji projektu przeprowadzono badania statystyk zdarzeń z udziałem gazów technicznych, jak również analizę zagrożeń wynikających z ich użytkowania, magazynowania lub transportu. Niniejszy artykuł jest próbą przedstawienia najistotniejszych wyników badań zamieszczonych w sprawozdaniu [25], a także pierwszym z cyklu dwóch artykułów poruszających problematykę zagrożeń powodowanych przez GT. W artykule skoncentrowano się głównie na podkreśleniu skali zagrożeń stwarzanych przez butle (zbiorniki) z gazami technicznymi.

Z analizy informacji ze zdarzeń jednostek ochrony przeciwpożarowej wynika, że rocznie podejmowanych jest ok. 391 tys. interwencji (średnia za lata 2000-2014), z czego liczba miejscowych zagrożeń kształtuje się średnio na poziomie ok. 234 tys., a pożarów 157 tys. [9-10]. W badanym okresie odnotowano ok. 32 tys. interwencji, w których zarejestrowano obecność gazów technicznych, z czego w przypadku blisko 3,1 tys. z nich odnotowano wybuchy gazów, par cieczy. Do wybuchu GT dochodziło blisko tysiąc razy, z czego 251 dotyczyło zbiorników z GT (najwięcej z udziałem LPG). Całkowita liczba poszkodowanych w wybuchach gazów i par cieczy podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w analizowanym okresie w Polsce wynosi ponad 2 tys. osób, w tym ponad 160 ofiar śmiertelnych oraz 2 tys. rannych. W wybuchach gazów technicznych łącznie odnotowano 48 ofiar śmiertelnych oraz 945 rannych – wśród ofiar śmiertelnych nie odnotowano ratowników, natomiast ranni ratownicy podczas wybuchów gazów technicznych stanowią blisko 9% odsetek wszystkich rannych ratowników podczas interwencji[7]. Analiza rodzajów urazów wykazała, że najczęściej dochodziło do oparzeń lub uszkodzeń ciała w wyniku uderzeń odłamkami zbiorników lub elementów konstrukcyjno-budowlanych budynku lub obiektu, w którym magazynowane były GT. Analiza danych jednoznacznie wskazuje, że problem zagrożenia ze strony gazów technicznych jest istotny, a liczba ofiar, w tym ratowników, wymaga działań prewencyjnych w sensie zwiększenia świadomości zagrożeń, szkoleń, a także poprawy jakości ochrony osobistej ratowników.

[7] Rozporządzenie Ministra Zdrowia z dnia 10 sierpnia 2012 r. w sprawie kryteriów i sposobu klasyfikacji substancji chemicznych i ich mieszanin.

firefighting activities, knowledge of the correlation between gas density and air, which determines its dispersion in air, is also important.

Taking into consideration the above, the implementation of the following research project was planned for the 2014-2017 period "The establishment of ways to neutralise the threat of the explosion of selected containers containing industrial gases, including alternative energy sources in the fire environment, for rescuers taking part in firefighting activities". The running of this research project is being carried out by a consortium consisting of the Main School of Fire Service, the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Gdansk Univeristy of Technology, Warsaw University of Technology, and the Corona company. The main aim of this research project is to establish safety measures for firefighters taking part in firefighting activities involving industrial gases.

An analysis of selected literature indicated that during recent years greater attention has been devoted to threats caused by flammable industrial gases stored in cylinders and to the proper way of dealing with those gases during fires. The following work written by T. Jopek is worth mentioning - *Postępowanie podczas zdarzeń z udziałem butli acetylenowych poddanych działaniu ognia, ciepła lub wielokrotnym uderzeniom* (*Procedures during incidents with acetylene cylinders subject to fire, heat or multiple shocks)* [1]. However, detailed standards set for firefighters dealing with cylinders containing industrial gases have been set only for acetylene cylinders [2].

For the project's implementation, statistical surveys of incidents with industrial gases were performed, as well as an analysis of threats resulting from their use, storage or transport. This paper is an attempt to present the crucial research results indicated in the report [25], as well as the first of two articles concerning the threats caused by cylinders containing industrial gases. The paper focuses mainly on highlighting the magnitude of threats associated with cylinders (tanks) holding industrial gases.

The analysis of information derived from incidents involving firefighting units indicates that 391 thousand interventions take place annually (average for the 2000-2014 period), where the number of local hazards is estimated at around 234 thousand, and fires at 157 thousand [9-10]. During the investigated period there were 32 thousand interventions recorded in which the presence of industrial gases was detected; around 3.1 thousand of those included gas and vapour explosions. There was almost a thousand industrial gas explosions, of which 251 were related to industrial gas cylinders (mostly LPG). The total number of affected parties due to gas and vapour explosions during interventions by firefighting units within the analysed period in Poland amounted to over 2 thousand people, including 160 fatalities and 2 thousand injured. As a result of industrial gas explosions, 48 fatalities and 945 injured were identified – there fatalities among the members of rescue teams, whereas rescuers injured because of industrial gas explosions accounted for almost 9% of all injured rescuers who participated in interventions[3]. The analysis of injuries indicated that burns or body injuries resulting from being struck by cylinder parts or construction elements of buildings housing industrial gases were the most frequent. The analysis of data clearly indicates that the threat coming from industrial gases is significant and the number of casualties, rescuers included, requires preventive measures in the sense of increasing the awareness of hazards, special training and improving the quality of personal protective equipment for rescuers.

[3] The statistics shown in the paragraph are based on the State Fire Service's statistical data. For details, see the research report [25].

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

2. Charakterystyka zagrożeń

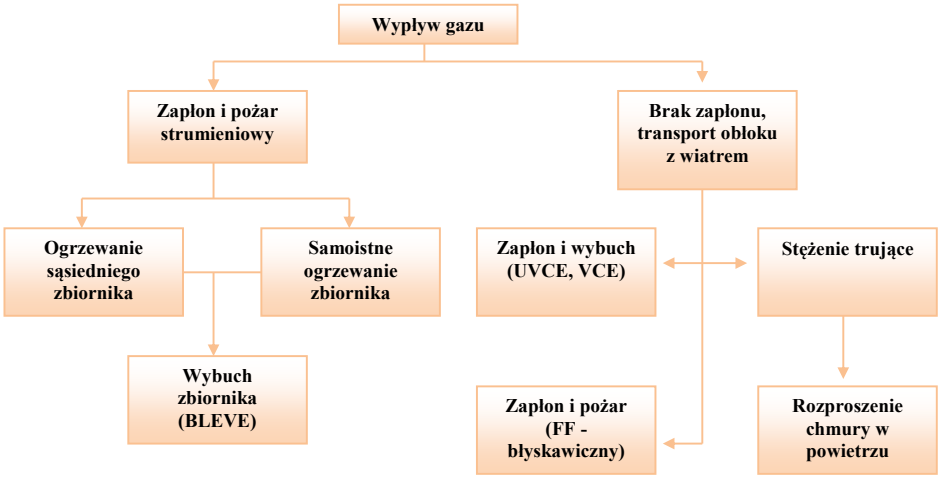
W rozdziale tym w sposób ogólny scharakteryzowano zagrożenia, jakie występują podczas zdarzeń awaryjnych z udziałem gazów technicznych. Jak wspomniano wcześniej gazy techniczne są to głównie gazy palne, które mogą stwarzać różne zagrożenia pożarowo-wybuchowe. Na ryc. 1 przedstawiono algorytm możliwych zdarzeń i zjawisk fizycznych, jakie mogą powstać w wyniku wycieku gazu.

W przypadku wycieku gazu z natychmiastowym zapłonem występuje zjawisko pożaru strumieniowego (Jet Fire). Jeśli wyciek następuje z dużego zbiornika lub sieci przesyłowej, pożar może utrzymywać się przez długi czas. Ze względu na bezpośrednie oddziaływanie płomienia i promieniowania cieplnego stwarza wtedy duże zagrożenie dla otoczenia. Taki pożar jest niebezpieczny szczególnie, gdy występuje samoistne ogrzewanie zbiornika lub ogrzewanie zbiornika sąsiedniego. W innych przypadkach, gdy pożar można kontrolować (np. poprzez chłodzenie zbiornika), jest on zjawiskiem pożądanym przez służby ratownicze, ponieważ prowadzi do całkowitego wypalenia gazu i nie powoduje eskalacji zagrożenia. W pierwszych dwóch przypadkach może jednak doprowadzić do niebezpiecznego wybuchu BLEVE z uformowaniem się kuli ognia (*fireball*).

2. The characteristics of the threats

The present chapter aims at a general characterisation of threats which occur during emergency incidents involving industrial gases. As mentioned previously, industrial gases can be identified as mostly flammable gases which can create various fire and explosion hazards. The diagram below presents an algorithm of possible incidents and physical phenomena which can occur as a result of gas leakage.

In the case of gas leakage with immediate ignition, the phenomenon of jet fire occurs. Such a fire can be sustained for a long time if the leakage comes from a large tank or a transmission grid, posing a real threat to the environment due to the direct impact of the flame and thermal radiation. Such a fire is dangerous, especially when the source is situated in a way that it causes the spontaneous heating of the tank or the heating of a neighbouring tank. In other cases, when the fire can be controlled (for example through the cooling of the tank), it is a phenomenon desired by the rescue team, because it leads to the complete burning of the gas and it does not escalate the threat. In the first two cases it can, however, lead to a dangerous BLEVE explosion, in which a fireball is formed.



Ryc. 1. Algorytm możliwych zdarzeń podczas wycieku gazu palnego
Źródło: Opracowanie własne W. Klapsa.

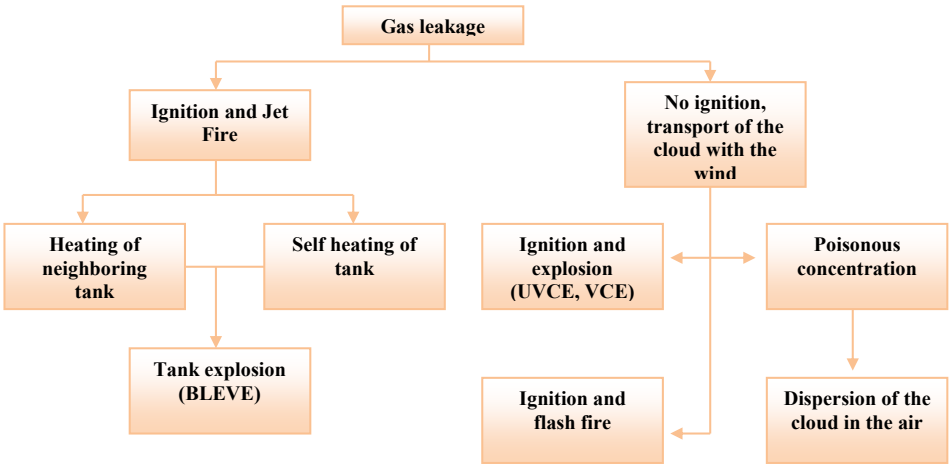


Fig. 1. The event tree of possible incidents during a flow of flammable gas
Source: Own elaboration by W. Klapsa.

BLEVE [3] (Boiling Liquid, Expanding Vapour Explosion) to wybuch spowodowany wyzwoleniem energii związanej z gwałtownym odparowaniem cieczy w momencie jej nagłego uwolnienia ze zbiornika, przy ciśnieniu wyższym od atmosferycznego i temperaturze przekraczającej jej temperaturę wrzenia. Jeżeli w zbiorniku znajdował się gaz palny, wystąpi wtedy zjawisko kuli ognia. Energia uwolniona w trakcie gwałtownego odparowania uwolnionej ze zbiornika cieczy może powodować powstanie fali uderzeniowej, natomiast *fireball*, czyli spalająca się chmura „paliwo – powietrze", emituje energię cieplną przede wszystkim w formie promieniowania (rzędu 200–450 kW/m^2) [4]. Powstające w czasie spalania siły wyporu gorących gazów powodują, iż chmura ta unosi się, rozszerza i przyjmuje sferyczny kształt. *Fireball*, wytwarzając strefę promieniowania cieplnego, może spowodować zarówno dotkliwe oparzenia skóry, jak i wywołać zapłon materiałów palnych znajdujących się w jego otoczeniu.

Jeśli wypełniony substancją palną zbiornik ulegnie uszkodzeniu i nie dojdzie do natychmiastowego zapłonu jego zawartości, lecz nastąpi wymieszanie się medium z powietrzem, skutkiem wystąpienia awarii może być pożar typu *flash fire* lub wybuch typu VCE (Vapour Cloud Explosion), który w przypadku wystąpienia w nieograniczonej przestrzeni określa się jako UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion).

Kształt płomieni przy pożarze błyskawicznym przybiera taką samą formę jak chmura, która ukształtowała się przed zapłonem. Pożary tego typu powstają, gdy gaz nie do końca wymieszał się z utleniaczem. Siły generowane w wyniku spalania powodują turbulencje, które dodatkowo wspomagają spalanie, bez gwałtownego wzrostu ciśnienia. Przyjmuje się, że na brzegu konturu mieszaniny panuje stężenie gazu palnego równe co najmniej dolnej granicy wybuchowości. W takiej chmurze następuje spalanie deflagracyjne, czyli czoło płomienia rozchodzi się poprzez molekularno-dyfuzyjny transport ciepła oraz turbulentne mieszanie substratów i produktów spalania. Osoby znajdujące się wewnątrz chmury przeważnie poniosą śmierć, natomiast osoby na zewnątrz chmury będą narażone na oddziaływanie promieniowania cieplnego, którego energia będzie zależna od odległości osób znajdujących się od źródła zdarzenia [5].

Wybuchy typu VCE lub UVCE występują, gdy gaz miesza się z powietrzem do czasu utworzenia się mieszaniny palnej, kiedy średnie stężenie substancji jest wyższe niż dolna granica wybuchowości. Podczas detonacji rozprzestrzeniająca się fala uderzeniowa wywołuje gwałtowne sprężanie mieszaniny palnej, powodując samozapłon i powstanie fali spalania, która podąża za falą uderzeniową (jest z nią sprzężona). Dla stechiometrycznych mieszanin węglowodorów z powietrzem prędkość rozchodzenia się fali detonacyjnej wynosi 1700-2100 m/s, co odpowiada wartości nadciśnienia 18-22 bar [6]. Można stwierdzić, że w przypadku wystąpienia detonacji generowane są znacznie większe ciśnienia, a skutki tego typu wybuchów są o wiele bardziej destrukcyjne niż w przypadku deflagracji. Intensywność wybuchu zależy głównie od ilości uwolnionej substancji oraz mocy źródła zapłonu [5].

Zjawisku wybuchu, a w szczególności wybuchu typu BLEVE towarzyszy bardzo niebezpieczne dla ratowników oraz osób postronnych zjawisko tzw. odłamkowania, czyli rozrzucenia elementów rozerwanego zbiornika lub innych elementów stałych znajdujących się na drodze rozchodzenia fali nadciśnienia. Oszacowanie skutków związanych z rozrzuceniem odłamków zbiornika po jego rozerwaniu jest bardzo trudne, ponieważ duża liczba czynników, często o charakterze losowym, wpływa na ich powstawanie i ruch w czasie trwania wybuchu. Mogą one powodować obrażenia u ludzi oraz zniszczenia różnego typu elementów konstrukcyjnych i technologicznych i co za tym idzie wywołać tzw. efekt domina.

BLEVE [3] (Boiling Liquid, Expanding Vapour Explosion) is an explosion caused by the release of energy connected with the violent evaporation of the liquid at the moment of its rapid release from the tank, with pressure higher than the atmospheric pressure and temperature higher than its boiling temperature. If a flammable gas were in the tank, the phenomenon of a fireball would take place. The energy released during the violent evaporation of the liquid can create a shockwave, whereas a fireball, meaning a burning "fuel-air" cloud, emits thermal energy mostly in the form of radiation (200–450 kW/m^2) [4]. The buoyant forces of hot gases created during combustion cause the cloud to rise, expand and take on a spheric shape. A fireball, by creating a zone of thermal radiation, can also cause severe skin burns and the ignition of flammable materials located in its surroundings.

If a tank filled with a flammable substance becomes damaged and there is no instant ignition of its contents, but they mix with air, a *flash fire* or VCE (Vapour Cloud Explosion) can occur as a result of the incident. A VCE, in the case of unlimited space, is defined as an UVCE (Unconfined Vapour Cloud Explosion).

The shape of the flames in the flash fire takes the same form as the cloud which is shaped before the ignition. These types of fire take place when the gas is not completely mixed with an oxidiser. The forces generated as a result of combustion create turbulence which additionally increase combustion without rapid pressure increase. It is set that at the edge of the mixture's contour, the concentration of the flammable gas is equal to at least the lower explosive limit. In such a cloud, deflagration takes place, meaning the flame front is distributed through molecular-diffusive heat transfer and the turbulent mixing of substrates and combustion products. Persons inside the cloud will most likely become fatalities, whereas persons outside of the cloud are in danger of exposure to thermal radiation, the energy of which depends on the distance between the persons and the incident source [5].

VCE or UVCE take place when a gas mixes with air until a flammable mixture is created, where average substance concentration is higher than the lower explosive limit. During detonation, the shockwave causes instant compression of the flammable mixture, which leads to self-ignition and the creation of a combustion wave which follows the shockwave (one wave is conjugated to the other). For stoichiometric mixtures of hydrocarbons with air, the speed of dispersal of the detonation wave amounts to 1700-2100 m/s, which corresponds to the hypertension value of 18-22 bars [6]. It may be stated that, in the case of detonation, generated pressures are significantly higher, and the results of such explosions are far more destructive than in the case of deflagration. The explosion intensity depends mainly on the amount of released substance and the power of the ignition source [5].

An explosion, especially BLEVE, is accompanied by the phenomenon of shrapneling, meaning the dispersal of elements of the tank or other elements standing in the way of the hypertension wave, which is extremely dangerous for rescuers and bystanders. Estimating the effects related to the dispersal of elements is extremely difficult, because a large number of factors, very often of a random nature, influence their creation and their movement. They can cause bodily injuries or damage to different construction or technological elements, which can lead to the so-called domino effect.

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

3. Gazy techniczne w świetle badań statystycznych

3.1. Charakterystyka problemów badawczych

Istotną część prac badawczo-rozwojowych zmierzających do badania procesów, zjawisk, a w konsekwencji budowy prototypów urządzeń lub technologii, stanowią badania statystyczne. Odpowiedzi udzielane na sformułowane pytania i problemy badawcze stanowią podstawę i uzasadnienie do dalszych prac. Podobnie ma to miejsce w przypadku niniejszych badań, w których autorzy próbują znaleźć odpowiedź na poniższe problemy badawcze:

- Jaka jest skala interwencji, w których zarejestrowano obecność GT?
- W ilu przypadkach odnotowano ich wybuchy?
- Jak często obserwuje się wybuchy gazów technicznych uwolnione do atmosfery (wybuchy przestrzeni gazowo -powietrznych)?
- Jak często obserwuje się wybuchy zbiorników, instalacji z udziałem GT?
- Jaki jest stopień wypadkowości i rodzaj obrażeń odniesionych podczas wybuchów GT?

3.2. Źródła danych statystycznych

Na przedstawione powyżej pytania autorzy udzielili odpowiedzi, analizując raporty z interwencji PSP za lata 2000-2014 oraz inne dostępne światowe bazy danych. Podstawą gromadzenia statystyk operacyjnych PSP jest informacja ze zdarzenia (IZ), potocznie nazywana „meldunkiem". Na przestrzeni lat 2000-2014 zakres IZ wraz ze sposobem jej sporządzania określało rozporządzenie ministra spraw wewnętrznych i administracji w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego [7-8]. W przypadku statystyk krajowych dostęp do danych jest stosunkowo prosty ze względu na sporządzanie i przechowywanie danych w systemie teleinformatycznym SWD-ST (archiwalny: 2000-2009) i SWD-PSP (bieżący: od 2009). Pomimo iż w roku 2011 zmieniło się rozporządzenie określające zasady organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego, w bardzo dużym uproszczeniu, sposób sporządzania i ewidencji raportów PSP nie uległ zmianie.

Statystyki krajowe, w oparciu o które przeprowadzono badania, podzielono na dwie części – standardowe i niestandardowe. W części standardowej znalazły się statystyki ogólnodostępne, np. opublikowane na stronach internetowych Komendy Głównej PSP [9] lub w Biuletynach Informacyjnych PSP [10]. Posłużyły one m.in. do zobrazowania ogólnej liczby interwencji i poszkodowanych w latach 2000-2014, tzw. punktu odniesienia, tła badań. Ze względu na brak w strukturze raportu PSP słowników, czy list wyborów stricte dotyczących GT, np. acetylen, metan, gaz ziemny, propan -butan [LPG] itp., w celu przeprowadzenia badań pojawiła się konieczność opracowania dedykowanych zapytań do baz danych. Opracowany mechanizm sprowadzał się do przeszukiwania części opisowych baz za pomocą słów i wyrażeń kluczowych (wzorców) – tzw. wyrażeń regularnych. Dodatkowo analizie poddano pole raportu o nazwie „numer ONZ substancji niebezpiecznych". Przykład opracowanych zapytań zamieszczono w części poświęconej metodologii badań – mechanizm selekcji danych.

Do bazy statystyk niestandardowych zaliczono również zbiory powstałe w wyniku „ręcznego" przeglądania części opisowych IZ, pod kątem udzielenia odpowiedzi nt. skali i rodzaju wybuchów mieszanin powietrzno-gazowych, butli, zbiorników, czy instalacji z gazami technicznymi (GT). W tym celu należało przejrzeć i dokonać „ręcznej" analizy blisko 900 części opisowych raportów. W podobny sposób przeanalizo-

3. Industrial gases in statistical data

3.1. The characteristics of research problems

Statistical research is a significant part of research and development activities which aim at researching processes, phenomena and, consequently, creating prototypes of devices or technologies. Answers provided to questions and research problems serve as a basis and explanation for further works. It is similar in the case of the this research, where authors aim at finding answers to the following research problems:

- What is the scale of intervention in which the presence of industrial gases was registered?
- In how many cases were explosions of these gases identified?
- How often can an explosion of industrial gases being released into the atmosphere be observed (gas-air space explosions)?
- How often can explosions of tanks and industrial gas installations be observed?
- What is the accident rate and what is the range of injuries resulting from the explosion of industrial gases?

3.2. Sources of statistical data

On the basis of the questions presented above, the authors provided their answers by analysing the reports from State Fire Service interventions in the 2000-2014 period and other available global databases. The basis for collecting operational statistics by the State Fire Service is found in information on the incident, commonly referred to as a ''report". Within the 2000-2014 period, the range of information and methods of its preparation were specified by the regulation of the Minister of Internal Affairs and Administration on the detailed rules for the organisation of the national firefighting system [7-8]. In the case of national statistics, access to data is relatively easy, because of the preparation and storage of data in the data communications systems SWD-ST (archival: 2000-2009) and SWD-PSP (current: since 2009). Despite the fact that in 2011 the regulation on the rules for the organisation of the national firefighting system was amended, in very simplistic terms the method of preparation and recording reports has not changed.

National statistics, on the basis of which the research was conducted, were divided into two parts – standard and nonstandard. The standard part consists of publicly available statistics, for example published on the National Headquarters of the State Fire Service's website [9] or in the Information Bulletin of the State Fire Service [10]. They were used for example for presenting the general number of interventions and casualties in the 2000-2014 period, the so-called point of reference, the research background. Due to lack of a glossary of terms in the State Fire Service's report, or lists of choices strictly related to industrial gases such as acetylene, methane, natural gas, propane-butane [LPG] and so on, the necessity of creating dedicated queries to the database arose. The mechanism comes down to searching through descriptive parts of databases with words and key phrases – the so-called regular phrases. Additionally, the report field entitled "the UN number for hazardous substances" was analysed. The sample of developed queries was indicated in the part devoted to research methodology – the mechanism of data selection.

The database for nonstandard statistics also includes data sets created as a result of the "manual" browsing of descriptive parts of reports to provide answers on the range and types of explosion of air-gas mixtures, cylinders, tanks or industrial gas installations. In order to do that, browsing and "manual" analysis of almost 900 descriptive parts of reports had to be performed. Almost 550 descriptive parts were analysed in

wano ok. 550 części opisowych pod kątem klasyfikacji urazów. W przypadku statystyk standardowych możemy mówić o danych w przybliżeniu dokładnych, zaś niestandardowych o danych szacunkowych, obarczonych pewnym poziomem ufności (patrz: opisy filtrów w części poświęconej metodologii badań).

W przypadku statystyk światowych zadanie było niezwykle utrudnione, z uwagi na brak informacji lub dostępu do baz danych z poziomu stron internetowych. W ramach realizacji zadania: zbadano zawartość strony internetowej [11] wraz z innymi dostępnymi publikacjami Międzynarodowego Stowarzyszenia Straży Pożarnych i Służb Ratowniczych (CTIF) [12-13]; wystosowano zapytanie na temat dostępności powyższych statystyk do jednego z współautorów opracowań [12-13] oraz członków organizacji European Network for Fire Investigation and Prevention – sieć 600 członków, ekspertów dochodzeń popożarowych. Zbadano także zawartości 11 potencjalnych baz danych, dostępnych z poziomu stron internetowych [14-24].

3.3. Metodologia i wyniki badań

W niniejszej części w sposób uproszony zaprezentowano, a następnie opisano wady i zalety mechanizmów selekcji danych niestandardowych z systemów SWD-ST i SWD-PSP. Metryki opracowano dla gazów technicznych typu: acetylen, wodór, metan (gaz ziemny), propan-butan (LPG), a następnie przedstawiono je w odniesieniu do zarejestrowanej obecności i wybuchów GT. Konstrukcja mechanizmów wykrywających zdarzenia z udziałem GT zakłada selekcje takich raportów z pożarów i innych miejscowych zagrożeń, w których w części opisowej znalazły się odpowiednio frazy: % wodór % lub % wodor% lub numer ONZ substancji 1044 (1049); % acetylen% lub numer ONZ substancji 1001; % metan% lub % gaz% % ziemn% lub numer ONZ substancji 1971, 1972; % LPG % lub % propan% %butan% lub numer ONZ substancji 1965, 1978, 1011. Znak „%" oznacza, że w przed lub za znakiem może znajdować się dowolna fraza. W przypadku wybuchów do ww. filtra dodawano konieczność zaistnienia podczas interwencji wybuchu („Rodzaj wybuchu – Gazów par i cieczy = Tak") [25].

3.3.1. Wodór

Zarejestrowana obecność

Wyniki badań wskazują, że spośród 454 interwencji zarejestrowanych w informacji ze zdarzenia oraz raportów pod frazami „wodór" (wodor) 32% miało miejsce w innych obiektach, 31% w obiektach produkcyjno-magazynowych, 20% w środkach transportu oraz po 7% w obiektach użyteczności publicznej i mieszkalnych. Z analizy 50 wybranych raportów (25: 2000-2009, 25: 2010-2014) wynika, że w 38 przypadkach faktycznie zarejestrowano obecność wodoru lub jego związków, a w 12 przypadkach nie. Uogólniając na całą populację daje to ok. 342 raportów poprawnych i 109 błędnych (0,76:0,24) [25].

Zarejestrowane wybuchy

Do wybuchów wodoru dochodzi stosunkowo rzadko (12). Występują one najczęściej w obiektach produkcyjnych (8). Połowa z raportów odnosiła się faktycznie do zdarzeń, w których ratownicy mieli do czynienia z wybuchami wodoru. W pozostałych raportach zarejestrowano jedynie obecność fraz „wodor" (wodor), które nie mają związku z wybuchowością. Z dużym uproszczeniem można przyjąć, że poziom ufności osiągnął 50% (0,5:0,5) [25].

3.3.2. Acetylen

Zarejestrowana obecność

Z bazy blisko 5,8 miliona pożarów i miejscowych zagrożeń za pomocą opracowanego filtra wyselekcjonowano 826 raportów, w których odnoszono się do zdarzeń z udziałem acetyle-

a similar manner in respect of the classification of injuries. In the case of standard statistics we can speak of approximately precise data, whereas in the case of nonstandard statistics we can speak of estimated data which are subject to a certain confidence level (see: descriptions of filters in the part devoted to the methodology of research).

In the case of worldwide statistics, the task was much more difficult due to lack of information or access to databases at the website level. The following activities were performed within this task: the inspection of the website's content [11] along with other available publications of the International Association of Fire and Rescue Service (CTIF) [12-13]; an enquiry into the availability of the above-mentioned statistics was issued to one of the co-authors of the studies [12-13] and members of the European Network for Fire Investigation and Prevention – a network of 600 members, experts in fire investigation; the content of 11 potential databases available at the website level was examined [14-24].

3.3. Research methodology and the results

The present section presents in a simplified manner and later on describes the advantages and disadvantages of mechanisms for selecting nonstandard data from SWD-ST and SWD-PSP systems. The metrics were created for the following industrial gases: acetylene, hydrogen, methane (natural gas), and propane-butane (LPG), and then they were presented with reference to the registered presence and explosions of industrial gases. The construction of mechanisms identifying incidents involving industrial gases assumes the selection of reports on fires and other local hazards in which the descriptive parts contain the following phrases: % hydrogen % or % hydrogen% or the UN substance number 1044 (1049); % acetylene% or the UN substance number 1001; % methane% or % natural% gas% or the UN substance number 1971, 1972; % LPG % or % propane% %butane% or the UN substance number 1965, 1978, 1011. The symbol % indicates that before or after that symbol any phrase may be inserted. In the case of explosions, the necessity of explosion occurrence during the intervention was added to the above-mentioned filter ("Explosion type – gas steam and liquid = Yes") [25].

3.3.1. Hydrogen

Registered presence

The research results indicate that among 454 interventions registered in the incident information and reports, under the phase "hydrogen" 32% took place in other buildings, 31% in production and warehouse facilities, 20% in means of transport and 7% in public utility and residential buildings respectively. After performing an analysis of 50 selected reports (25: 2000-2009, 25: 2010-2014) it can be concluded that in 38 cases the presence of hydrogen or its compounds was for certain registered, whereas in 12 cases the presence was not registered at all. After generalising it to the entire population, it amounts to around 342 correct reports and 109 incorrect reports (0.76:0.24) [25].

Registered explosions

Hydrogen explosions occur relatively rarely (12). Most frequently they occur in manufacturing facilities (8). Half the reports referred to the incidents in which the rescuers in fact had to deal with hydrogen explosions. The remaining reports registered the presence of "hydrogen" phrases, which do not correspond to explosiveness. It may be greatly simplified as that the confidence level reached 50% (0.5:0.5) [25].

3.3.2. Acetylene

Registered presence

From a database of almost 5.8 million fires and local hazards, 826 reports were selected using a developed filter; these reports included information about incidents involving acety-

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

nu. Wyboru dokonano poprzez wyszukanie numeru ONZ substancji oraz frazy „acetylen" (w różnych odmianach). Rozkład statystyk według kategorii obiektów wykazuje, że obecność tego gazu najczęściej rejestruje się w innych obiektach[8] – 39% (garaże, warsztaty samochodowe wewnątrz i poza budynkami, inne nietypowe obiekty, budynki, instalacje), w obiektach produkcyjnych i magazynowych (w sumie 29%), w środkach transportu (11%) i obiektach mieszkalnych 9% [25].

W celu określenia poziomu skuteczności opracowanego zapytania zapoznano się z częścią opisową pierwszych 100 „meldunków" (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). Wynik analizy to 92 przypadki, w których ratownicy w sposób bezpośredni lub pośredni mieli do czynienia z acetylenem, zaś w przypadku 8 nie potwierdzono jego obecności. Przekładając szacunki na całą populację, można wnioskować, że globalny stosunek prawidłowo do nieprawidłowo wyselekcjonowanych IZ wynosi 0,92:0,08, co przekłada się na 758 poprawnie wybranych do 66 błędnie wybranych raportów [25].

Zarejestrowane wybuchy

Rozkład statystyk wskazuje, że z otrzymanych 36 raportów do wybuchów acetylenu najczęściej dochodziło w obiektach produkcyjno-magazynowych (w sumie 42%), innych obiektach (42%), środkach transportu (8%) i obiektach mieszkalnych (6%). Wyniki analizy 36 raportów to 26 przypadki, w których ratownicy faktycznie mieli do czynienia z wybuchami butli lub obecnością atmosfer powietrzno-gazowych, zaś 13 z nich nie dotyczyło acetylenu. Poziom ufności osiągnął stosunek 0,72:0,28 trafnych raportów [25].

3.3.3. Metan (gaz ziemny)

Zarejestrowana obecność

Metan stanowi jedną z najliczniejszych grup statystycznych GT, zarówno pod względem jego występowania w interwencjach (7352), jak i wybuchów (129). Ma to związek z tym, że występuje w interwencjach, w których zachodzi także konieczność wykonywania pomiarów jego stężenia. Przez to, aż w 57% jego obecność odnotowano w obiektach mieszkalnych (jednorodzinnych i wielorodzinnych), 14% sumarycznie w obiektach produkcyjnych (13%) i magazynowych (1%), a 21% w innych obiektach (inne nietypowe obiekty – poza klasyfikacją). Na podstawie analizy 1% meldunków (35: 2000-2009, 35: 2010-2014) stosunek prawidłowo do nieprawidłowo wyselekcjonowanych raportów określono na 36:34. Przekłada się to na stosunek 0,51:0,49 (3746:3600) poprawnie do błędnie wybranych raportów z całej populacji [25].

Zarejestrowane wybuchy

Częstość zarejestrowanych wybuchów gazu ziemnego (129) pod względem kategorii obiektów jest taka sama jak w przypadku jego obecności. Aż 74% zdarzeń (95 interwencji) dotyczyło obiektów mieszkalnych, zaś 16% obiektów innych. Po przeanalizowaniu ok. 20% interwencji (13: 2000-2009, 13: 2010-2014) okazuje się, że stosunek prawidłowo do nieprawidłowo wyselekcjonowanych raportów wyniósł 24:2, co przekłada się na stosunek 0,92:0,08 (119:10) w całej populacji [25].

3.3.4. LPG (propan-butan)

Zarejestrowana obecność

Najliczniejszą grupą GT pod względem zarejestrowanej obecności (23742) jest LPG (propan-butan). Największą liczbę interwencji odnotowuje się w obiektach mieszkalnych (9850), co daje 41% i środkach transportu (8682) – ok. 37%. Związane jest to w głównej mierze z ulatnianiem się gazu oraz

[8] Zgodnie z rozporządzeniem ws. szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego poprzez obiekt należy rozumieć miejsce prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych. Szczegóły patrz [1].

lene. The selection was made by searching the UN substance number and the "acetylene" phrase (in different combinations). The statistical distribution by building category indicates that the gas presence is indentified most frequently in other facilities[4] – 39% (garages, car workshops inside and outside buildings, other unusual facilities, buildings and installations), in manufacturing facilities and warehouses (in total 29%), means of transport (11%) and residential buildings 9% [25].

In order to estimate the effectiveness level of the query, the descriptive part of first 100 "reports" was evaluated (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). The analysis result is 92 cases in which rescuers in direct or indirect way had to deal with acetylene, whereas in 8 cases there was no presence of acetylene identified. Extrapolating the estimates onto the entire population, it can be concluded that the global rate of correctly and incorrectly selected reports amounts to 0.92:0.08, which corresponds to 758 correctly selected and 66 incorrectly selected reports [25].

Registered explosions

The statistical distribution indicates that from 36 received reports, acetylene explosions occurred most frequently in manufacturing facilities and warehouses (in total 42%), other facilities (42%), means of transport (8%) and residential buildings (6%). Among 36 reports, in 26 rescuers had to directly deal with cylinder explosions or the presence of air-gas atmospheres, whereas the presence of acetylene was not indicated in 13 of them. The confidence level reached the following rate of correct reports [25]: 0.72:0.28.

3.3.3. Methane (natural gas)

Registered presence

Methane is one of the most statistically numerous groups of industrial gases when it comes to its presence in interventions (7352) and explosions (129). This is connected with the fact that methane is present in interventions in which the necessity to measure its concentration arises. Thus, its presence is identified in residential (single-family and multi-family) buildings in 57%, 14% in total in manufacturing facilities (13%) and warehouses (1%), and 21% in other facilities (other atypical facilities – not classified). After reviewing 1% of reports (35: 2000-2009, 35: 2010-2014), the ratio of correctly selected reports to those selected incorrectly was 36:34. This translates to the ratio 0.51:0/49 (3746:3600) of correctly and incorrectly selected reports from the entire population [25].

Registered explosions

The frequency of registered explosions of natural gas (129) when it comes to the facility category is the same as in the case of its presence. As many as 74% (95 interventions) concern residential buildings, whereas other facilities constitute 16%. After analysing around 20% of interventions (13: 2000-2009, 13: 2010-2014) it is concluded that the relation of correctly to incorrectly selected reports was 24:2, which corresponds to the following relation 0.92:0.08 (119:10) for the entire population [25].

3.3.4. LPG (propane-butane)

Registered presence

LPG (propane-butane) is the most-numerous group of industrial gases when it comes to registered presence (23742). The greatest number of interventions is identified in residential buildings (9850) which accounts for 41%, and in means of transport (8682) which accounts for 37%. It is mostly connected with the incidence of gas escape or fire involving gas cylinders in residential buildings. Apart from single- and multi-family residential buildings, a significant number of

[4] Pursuant to the regulation on detailed rules of organisation of the national firefighting system, a facility means a place where rescue and firefighting activities took place. For details, see [1].

pożarami z udziałem butli gazowych w obiektach mieszkalnych. Oprócz jedno- i wielorodzinnych obiektów mieszkalnych dużą część pożarów stanowią pożary obiektów typu altany, w których butle gazowe z propanem-butanem stanowią podstawowe źródło ogrzewania. Interwencje w środkach transportu to w głównej mierze wypadki (kolizje), w których do standardowych działań należy odłączanie akumulatorów i zakręcanie zaworów w zbiornikach z LPG. Przeanalizowano 100 meldunków z prawdopodobną obecnością LPG (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). Skuteczność zapytania wyniosła 57:43, co dla całej bazy raportów przekłada się na proporcje 13533:10209 (0,57:0,43). Oznacza to, że w blisko 60% zdarzeń zanotowano faktyczną obecność GT [25].

Zarejestrowane wybuchy

LPG należy również do najliczniejszej grupy GT pod względem wybuchów (827). Przełożyło się to na blisko 66-procentowy odsetek wybuchów tego gazu w obiektach mieszkalnych (542 interwencje), 11-procentowy w produkcyjno-magazynowych (50, 43) oraz 6-procentowy (50) w środkach transportu. Największa liczba interwencji wynikała z uwalniającego się gazu z butli, co tworzyło mieszaniny powietrzno-gazowe, a następnie ich wybuch. Mniejszą część stanowią pożary, w których miał miejsce wybuch butli gazowych. Dotyczy to głównie pożarów altanek, samochodów wyposażonych w instalacje LPG. Analizie poprawności poddano 100 meldunków (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). Faktyczne wybuchy gazu odnotowano w stosunku 88:12 (0,88:0,12), co przekłada się na proporcje 726:99 poprawnie do niepoprawnie wyselekcjonowanych interwencji. Oznacza to, że w blisko 90% interwencji pojawiały się wybuchy propanu-butanu [25].

Wyniki badań podzielono na dwie części. W pierwszej omówione zostaną wyniki badań w odniesieniu do statystyk krajowych i postawionych pytań badawczych, zaś w drugiej w stosunku do statystyk międzynarodowych.

3.4. Statystyki krajowe

Na wstępie zostaną udzielone odpowiedzi na pytania: Jaka jest skala interwencji, w których zarejestrowano obecność GT? W ilu przypadkach odnotowano ich wybuchy?

W latach 2000-2014 w Polsce odnotowano blisko 32 tys. interwencji z zarejestrowaną obecnością gazów technicznych typu: acetylen, wodór, metan (gaz ziemny), propan-butan. Około 10 tys. z nich zakwalifikowano jako pożary (P), a 22 tys. jako inne miejscowe zagrożenia (MZ). W przypadku ok. 1 tys. miał miejsce wybuch (683-P; 321-MZ) [25]. Czy to dużo? Okazuje się, że średnio w ciągu 1 roku w sumie dochodzi do ok. 2100 interwencji z obecnością jednego z ww. gazów, zaś w 67 przypadkach dochodzi do wybuchu.

Szczegółowa analiza danych statystycznych wykazuje, że spośród badanych GT podczas działań ratowniczo-gaśniczych ratownicy najczęściej napotykali się na LPG (23,7 tys.), z czego w 827 przypadkach dochodziło do wybuchów. Rocznie daje to średnio blisko 1600 interwencji i 55 wybuchów. Na drugim miejscu plasuje się gaz ziemny (metan) – obecny w blisko 7,3 tys. interwencji, spośród których w 129 zarejestrowano wybuch. Daje to średnio 490 interwencji i 9 wybuchów rocznie. Mniej liczną grupę stanowią wodór i acetylen. Pierwszy z nich statystycznie pojawił się 454 razy podczas interwencji, z czego 12 razy dochodziło do wybuchu, co daje średnio 30 interwencji i 1 wybuch w roku. Obecność acetylenu zarejestrowano natomiast 826 razy, przy 36 wybuchach, co przekłada się na średnio 55 interwencji rocznie z jego obecnością i 2 wybuchy rocznie [25] (por. tabela 1, ryc. 2).

W tym miejscu należy podkreślić, że prezentowane na rycinach wartości obrazujące obecność i wybuchy badanych GT (por. tabela 1, ryciny 2, 3, itd.) są takie, jak otrzymano na etapie selekcji danych przy pomocy powyżej opisanych filfires took place in summer houses in which gas cylinders containing propane-butane were the main source of heating. Interventions in means of transport are mainly associated with accidents (collisions) in which some of the standard procedures included battery disconnection and valve shut-off in LPG tanks. 100 reports with the possible presence of LPG were analysed (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). The query's effectiveness was 57:43, which corresponds to the entire database in the following proportions 13533:10209 (0.57:0.43). This means that in almost 60% of incidents the presence of industrial gases was identified [25].

Registered explosions

LPG is one of the largest groups of industrial gases when it comes to explosions (827). This corresponds to nearly 66% of explosions of LPG in residential buildings (542 interventions), 11% in manufacturing facilities and warehouses (50, 43) and 6% (50) in means of transport. The highest number of interventions resulted from the escape of gas from cylinders which created air-gas mixtures and, consequently, their explosion. Explosions of gas cylinders constitute a smaller part. Such explosions mainly include fires in summer houses and cars with an LPG installation. 100 "reports" were subject to correctness analysis (50: 2000-2009, 50: 2010-2014). Gas explosions were identified in the ratio 88:12 (0.88:0.12) which corresponds to 726:99 of correctly and incorrectly selected interventions. This means that in almost 90% of interventions the explosions of propane-butane were identified [25].

The research results were divided in two parts. In the first part, the results in the context of national statistics and research questions will be reviewed, whereas the second part will concentrate on the results in the context of international statistics.

3.4. National statistics

In the beginning, two questions will be answered. What is the scale of interventions in which the presence of industrial gases was identified? In how many cases were explosions identified?

In Poland, in the 2000-2014 period there were almost 32 thousand interventions with the identified presence of industrial gases such as acetylene, hydrogen, methane (natural gas), and propane-butane. Around 10,000 of these were classified as fires (F), whereas 22,000 were classified as other local hazards (LZ). In the case of around 1,000 interventions, the explosion took place (683-F; 321-LZ) [25]. Is it a high number? It turns out that, on average, there are around 2100 interventions per annum with the presence of one of the above-mentioned gases, whereas explosions take place in 67 cases.

A detailed analysis of statistical data indicates that among all industrial gases examined, LPG was identified most frequently by rescuers during rescue and firefighting activities (23,700), where explosions happened in 827 cases. Annually, it amounts to 1600 interventions and 55 explosions on average. Natural gas (methane) was identified as the second most frequent with almost 7,300 interventions and 129 explosions. On average, this amounts to 490 interventions and 9 explosions per annum. Hydrogen and acetylene were identified less frequently. Hydrogen was identified 454 times during interventions, where explosions happened 12 times, which, on average, amounts to 30 interventions and 1 explosion per annum. Acetylene was identified 826 times with 36 explosions, which corresponds to 55 interventions annually and 2 explosions on average [25] (Table 1, Fig. 2).

It is worth noting that the values presented in the figure, which demonstrate the presence and explosion of examined industrial gases (cf. Table 1, Figs. 2, 3, etc.), are as collected at the moment of data selection with the use of the above-mentioned filters (see: research methodology). The presented val-

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

Tabela 1. Zarejestrowana obecność (O) i wybuchy (W) wybranych gazów technicznych podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w pożarach (P) i miejscowych zagrożeniach (MZ) w latach 2000-2014*
Table 1. The registered presence (P) and explosions (E) of selected gases during the operation of units of fire protection in fires (F) and local hazards (LZ) in the 2000-2014 period*

	P/F		MZ / LZ		Suma / Total		Średnia roczna / The annual average	
	O/P	W/E	O/P	W/E	O/P	W/E	O/P	W/E
Wodór/ Hydrogen	81	8	373	4	454	12	30	1
Acetylen / Acetylene	698	30	128	6	826	36	55	2
Metan (gaz ziemny) /Methane (natural gas)	1087	67	6265	62	7352	129	490	9
LPG (propan-butan) / propane-butane	8576	578	15166	249	23742	827	1583	55
Suma / Total	10442	683	21932	321	32374	1004	2158	67

*Poziom ufności danych: wodór – obecność 0,75, wybuchy 0,5; acetylen – obecność 0,92, wybuchy 0,72; metan (gaz ziemny) – obecność 0,5, wybuchy 0,9; LPG (propan-butan) – obecność 0,57, wybuchy 0,88.

* Confidence level data: hydrogen – presence 0.75, explosions 0.5; acetylene – presence 0.92, explosions 0.72; methane (natural gas) – presence 0.5, explosions 0.9; LPG (propane-butane) – presence 0.57, explosions 0.88.

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].
Source: Prepared by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

trów (patrz: metodologia badań). Prezentowane wartości nie uwzględniają opisanego przy każdym z filtrów poziomu ufności, który w przybliżeniu wyniósł: dla wodoru – obecność 0,75, wybuchy 0,5; dla acetylenu – obecność 0,92, wybuchy 0,72; dla metanu (gazu ziemnego) – obecność 0,5, wybuchy 0,9; LPG (propan-butanu) – obecność 0,57, wybuchy 0,88 [25].

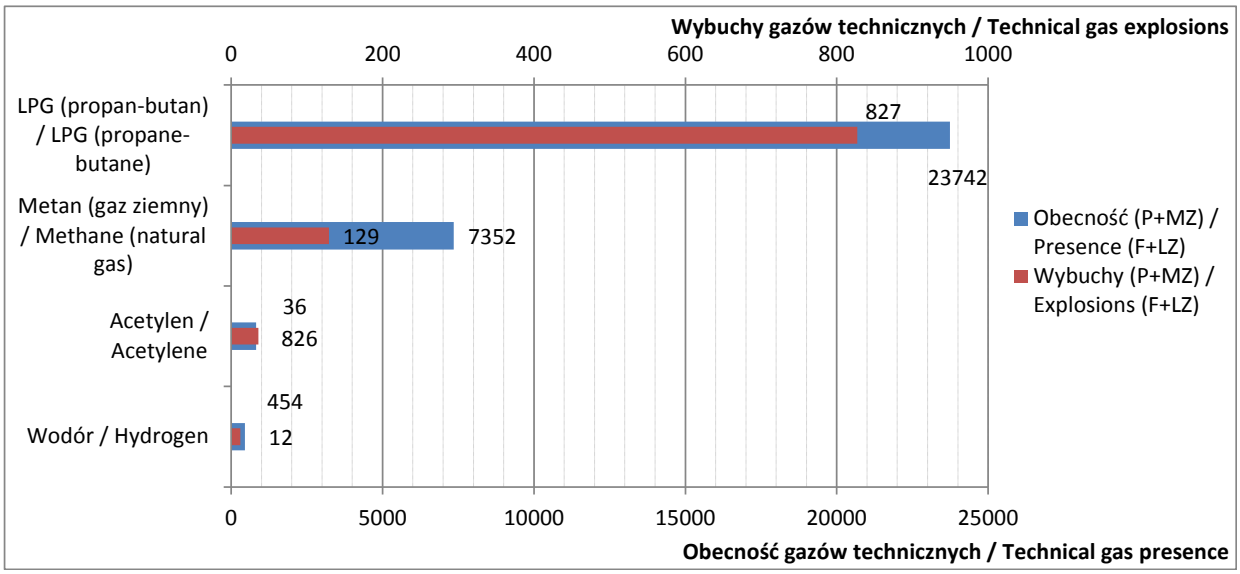
Mając wyobrażenie na temat częstości występowania wybuchów wybranych GT, warto statystycznie uzasadnić istotną dla procesu prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych kwestię, odpowiadając na pytania:

- Jak często obserwuje się wybuchy gazów technicznych uwolnione do atmosfery (wybuchy przestrzeni gazowo -powietrznych)?
- Jak często obserwuje się wybuchy zbiorników, instalacji z udziałem GT?

ues do not indicate the confidence level in relation to each filter, approximate for hydrogen – presence 0.75, explosions 0.5; acetylene – presence 0.92, explosions 0.72; methane (natural gas) – presence 0.5, explosions 0.9; ; or LPG (propane-butane) – presence 0.57, explosions 0.88 [25].

Having a view of the frequency of industrial-gas explosions, it is worth providing answers to the following questions, and statistically justifying an issue important for the firefighting activities:

- How often can explosions of industrial gases released into atmosphere be observed (explosions of gas-air space)?
- How often can explosions of tanks and installations involving industrial gases be observed?



Ryc. 2. Liczba interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej z zarejestrowaną obecnością i wybuchami wybranych gazów technicznych w latach 2000-2014*
*Poziom ufności danych: wodór – obecność 0,75, wybuchy 0,5; acetylen – obecność 0,92, wybuchy 0,72; metan (gaz ziemny) – obecność 0,5, wybuchy 0,9; LPG (propan-butan) – obecność 0,57, wybuchy 0,88
Fig. 2. The number of interventions by Fire Protection Units with a registered presence and explosions of selected gases in the years 2000-2014
*Confidence level data: hydrogen – the presence of 0.75, explosions 0.5; acetylene – presence 0.92, explosions 0.72; methane (natural gas) – presence 0.5, explosions 0.9; and LPG (propane-butane) – presence 0.57, explosions 0.88.
Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].
Source: Prepared by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

Udzielenie odpowiedzi na powyższe pytania było niezwykle czasochłonne, ponieważ należało przejrzeć blisko 874 części opisowych raportów, a następnie „ręcznie" sklasyfikować rodzaj wybuchu w rozbiciu na wybuchy mieszanin powietrzno-gazowych oraz zbiorników, butli, instalacji.

Wyniki badań wskazują, że ratownicy najczęściej mają do czynienia z wybuchami mieszanin powietrzno-gazowych (517) oraz zbiorników, butli, instalacji (221) z propanem-butanem. Sumarycznie daje to 738 wybuchów w latach 2000-2014, co nieznacznie różni się od danych przedstawionych na rycinie 2 (827). Powyższe wynika z faktu, że na rycinie 1 dane obarczone są pewnym błędem, określonym jako poziom ufności, który dla wybuchów LPG wyniósł blisko 0,88. Otrzymana wartość 738 wybuchów mieści się zatem w zakładanym 12-procentowym błędzie. Drugim z kolei GT pod względem liczby wybuchów jest metan – 92 wybuchy mieszanin powietrzno-gazowych i 13 zbiorników, butli lub instalacji. W przypadku acetylenu w 16 przypadkach dochodziło do wybuchów zbiorników, butli lub instalacji, a 9 mieszanin powietrzno-gazowych, zaś wodoru 1 do 5 na korzyść mieszanin powietrzno-gazowych (ryc. 3) [25].

Nie od dziś wiadomo, że wybuchy GT są tragiczne w skutkach, z uwagi na towarzyszące im promieniowanie cieplne, przyrost ciśnienia czy odłamkowanie. Niestety trudno jest znaleźć w literaturze przedmiotu dane o liczbie poszkodowanych, czy kategorii urazów. Mając na uwadze powyższe, w ramach przedmiotowych badań dokonano przeglądu i analizy raportów, w których zarejestrowano wybuchy GT, z jednoczesną kwalifikacją urazów. Tym samym udzielono odpowiedzi na pytanie: Jaki jest stopień wypadkowości i rodzaj obrażeń odniesionych podczas wybuchów GT?

Według raportów jednostek ochrony przeciwpożarowej całkowita liczba poszkodowanych w latach 2000-2014 w Polsce wyniosła blisko 680 tys. 64 tys. stanowią ofiary śmiertelne, a ponad 615 tys. ranni. Zgodnie z uzyskanymi danymi statystycznymi wśród poszkodowanych zarejestrowano sumarycznie 55 ofiar śmiertelnych i 8264 rannych ratowników (ryc. 4) [25].

W tym miejscu należy podkreślić, że zgodnie z zasadami ewidencjonowania zdarzeń stan i liczba poszkodowanych określane są przez ramy czasowe działań ratowniczo-gaśniczych prowadzonych przez JOP. Oznacza to, że osoba doznająca ciężkich obrażeń ciała, a następnie zabrana przez zespół ratownictwa medycznego w dokumentacji kwalifikowana jest jako ranna. Z chwilą, kiedy po kilku dniach następuje zgon w wyniku doznanych obrażeń, wówczas taka osoba figuruje w dokumentacji dalej jako osoba ranna. Podobnie poszko-

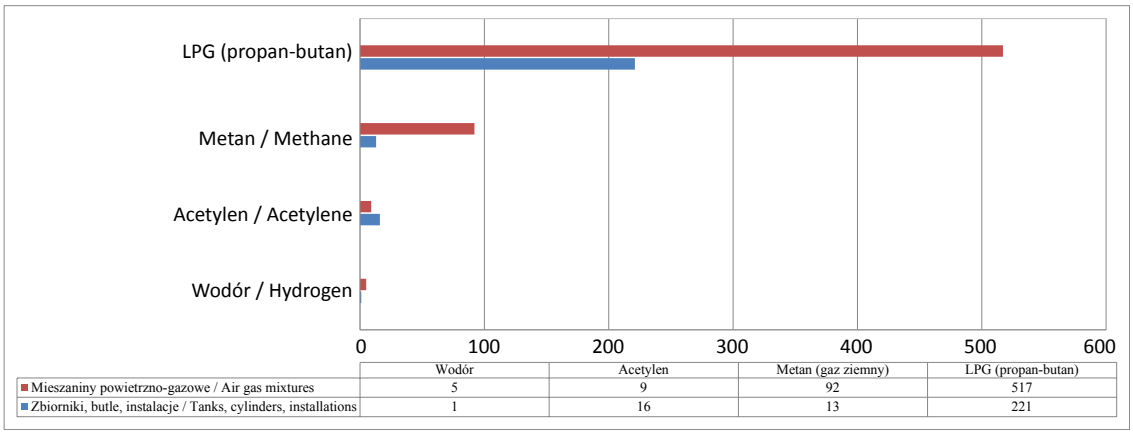
Providing answers to the questions above was time-consuming, because 874 descriptive parts of the reports needed to be examined and then "manually" divided in terms of explosion type: explosions of air-gas mixtures, tanks, cylinders, and installations.

The results indicate that rescuers most frequently deal with explosions of air-gas mixtures (517) and tanks, cylinders, installations (221) with propane-butane. To sum up, it gives 738 explosions within the 2000-2014 period, which is slightly different from the data presented in Figure 2 (827). It comes from the fact that data in Figure 1 is to some extent marked with error, which is specified as a confidence level; for LPG explosions this level amounted to almost 0.88. The value of 738 explosions is within the estimated 12% error. Methane is the second industrial gas when it comes to the number of explosions – 92 explosions of air-gas mixtures and 13 of tanks, cylinders and installations. In the case of acetylene, explosions of tanks, cylinders and installations occurred 16 times, whereas explosions of air-gas mixtures occurred 9 times; in the case of hydrogen this is 1 to 5 in favour of air-gas mixtures (Fig. 3) [25].

It is common knowledge that industrial-gas explosions have a tragic impact, due to thermal radiation, pressure increase and shrapnelling. Unfortunately, it is difficult to find data on the number of victims or injury categories in any literature. Taking into consideration the above, within the scope of the research, a review and analysis of reports where industrial-gas explosions were identified was performed, with the simultaneous classification of injuries. Thus, an answer to the following question was provided: what is the accident rate and what is the range of injuries resulting from the explosion of industrial gases?

According to the reports of fire service units, the total number of casualties in the 2000-2014 period in Poland amounted to almost 680,000. Fatalities constitute 64,000 thousand, whereas injured 615,000. According to the statistical data, among all casualties, 55 fatalities and 8264 injured rescuers were registered in total (Fig. 4) [25].

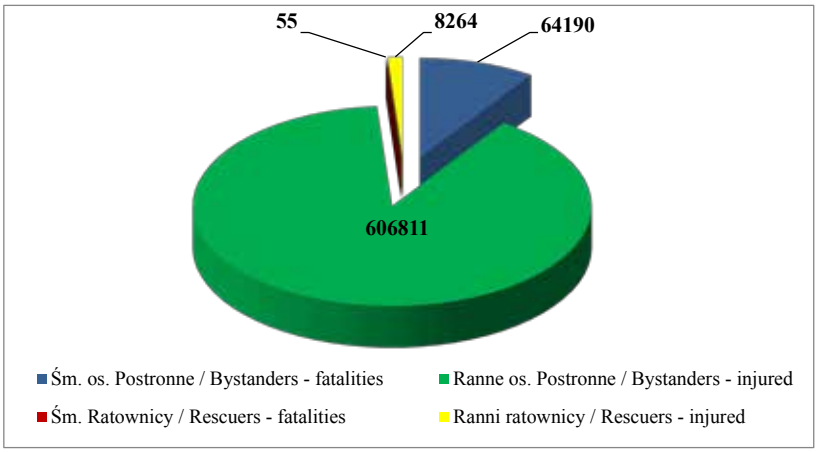
One can note that, pursuant to the rules of keeping records of incidents, the state and number of casualties are specified within the time frame of rescue and firefighting activities performed by fire service units. It means that a person with serious body injuries who is later on transported by a medical-rescue team is classified in documentation as injured. If a given person dies after a few days due to the injuries, such a person is still classified in documentation as injured. Similarly, injured persons who were transported before the fire



	Wodór	Acetylen	Metan (gaz ziemny)	LPG (propan-butan)
Mieszaniny powietrzno-gazowe / Air gas mixtures	5	9	92	517
Zbiorniki, butle, instalacje / Tanks, cylinders, installations	1	16	13	221

Ryc. 3. Liczba interwencji z zarejestrowanymi wybuchami gazów technicznych według rodzaju wybuchu w latach 2000-2014
Fig. 3. The number of interventions recorded bursts of gases according to the type of explosion in the 2000-2014 period)
Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].
Source: Prepared by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3



Ryc. 4. Liczba poszkodowanych zarejestrowanych podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w latach 2000-2014
Fig. 4. The number of casualties recorded during the intervention of fire protection units in the 2000-2014 period
Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].
Source: Own elaboration by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

dowani zabrani z miejsca zdarzenia przed przybyciem straży w wielu przypadkach nie zostali uwzględnieni w raportach z działań JOP.

Na uwagę zasługuje względnie duża liczba poszkodowanych odnotowanych w 874 interwencjach, w których zarejestrowano wybuchy gazów technicznych. Zgodnie z nimi w zdarzeniach tych zmarło 48 osób, a 945 zostało poszkodowanych, z czego wszystkie ofiary to osoby postronne (O), zaś 84 ranni to ratownicy (R). Można było przypuszczać, że największą liczbę rannych pochłonęły interwencje z udziałem LPG – 679 rannych osób postronnych i 52 ratowników, podobnie jak w przypadku metanu – 134 osoby postronne i 7 ratowników. Zaskakująco dużo poszkodowanych zarejestrowano podczas interwencji z udziałem acetylenu – 31 ofiar, 20 rannych i wodoru 17 ofiar, 5 rannych, dlatego postanowiono zbudować wskaźnik, obrazujący skalę poszkodowanych na 10 interwencji z wybuchami (Ranni/10).

Z badań wynika, że na 10 interwencji z wybuchami GT zostaje rannych ok. 9 osób postronnych i 1 ratownik. Natomiast najwięcej osób postronnych – 14 na 10 interwencji i 10 na 10 interwencji – zostało rannych podczas zdarzeń z udziałem odpowiednio wodoru i metanu. Inny charakter rozkładu ma wskaźnik Ranni/10 w przypadku ratowników. Otóż największy odsetek rannych ratowników odnotowano podczas interwencji z acetylenem – blisko 6 oraz wodorem – 4 rannych na 10 zdarzeń (tabela 2) [25].

Analizę rodzaju obrażeń przeprowadzono w oparciu o wyniki badań ujęte w sprawozdaniu [25] w oparciu o 547 interwencji z zarejestrowanymi wybuchami i poszkodowanymi wśród osób postronnych lub ratowników. Z uwagi na obszerność sprawozdania [25] w publikacji przedstawiono syntezę wyników odniesioną do wszystkich GT. Podczas analizy części opisowych IZ szczególną uwagę zwracano na rodzaje obrażeń i ich opis, jednak niestety nie wszystkie raporty zawierają takowe opisy, a jeśli zawierają to często niepełne. Istotne jest zatem, że nie można porównywać między sobą liczby raportów z wybuchami i poszkodowanymi (547), liczby poszkodowanych (945), czy też sumarycznej liczby obrażeń, tym bardziej, że jedna osoba mogła odnieść kilka urazów w ramach jednego wybuchu (oparzenia, złamania itp.).

Z badań wynika, że najczęściej podczas wybuchów dochodzi do oparzeń – ok. 600 przypadków, w tym ogólnie oparzeń (401), I (45), II (79) i III (24) stopnia. W 45 przypadkach odnotowano rozległe oparzenia ciała, a 14 oparzenia górnych dróg oddechowych. Dla ww. przypadków można mówić o bliskiej styczności poszkodowanych z mieszaniną powietrzno-gazową, która ule-

service unit's arrival at the destination were not indicated in the fire service unit's reports.

The relatively high number of victims identified in 874 interventions in which industrial gas explosions were identified is worth noting. According to the numbers, there were 48 fatalities and 945 injured; all fatalities were bystanders (B), whereas 84 injured were rescuers (R). As could be predicted, the highest number of injured came from LPG interventions: 679 injured bystanders and 52 rescuers, similarly to methane interventions – 134 bystanders and 7 rescuers. A surprisingly high number of victims were registered during acetylene interventions – 31 fatalities, 20 injured; and hydrogen: 17 fatalities 5 injured. Thus, the idea emerged to create a new indicator which could reflect the scale of casualties for 10 interventions with explosions (Injured/10).

The research shows that for every 10 interventions with industrial gas explosions, there are 9 injured bystanders and 1 injured rescuer. The highest number of bystanders – 14 in 10 interventions and 10 in 10 interventions – were injured during incidents with hydrogen and methane respectively. When it comes to rescuers, the indicator Injured/10 has a different distribution. The highest number of injured rescuers was identified in acetylene interventions – almost 6 and in hydrogen interventions – 4 injured for 10 incidents (Table 2) [25].

The analysis of injury types was conducted on the basis of the research results indicated in the report [25] with reference to 547 interventions with registered explosions and casualties among bystanders or rescuers. Due to the report's extensiveness [25], the publication includes a synthesis of results which corresponds to all industrial gases. While analysing the descriptive parts of reports, special attention was devoted to the types of injury and their description; however, not all reports included such descriptions and those that did often included incomplete descriptions. Thus it is crucial to remember that the number of reports with explosions and victims (547) cannot be compared to the number of victims (945) or the total number of injuries, especially that one person could be injured in more than one way during an explosion (skin burns, broken bones, etc.).

The research indicates that burns are the most frequent injuries during explosions – around 600 cases, especially burns (401) of the 1st (45), 2nd (79) and 3rd (24) degree. In 45 cases extensive body burns were identified, whereas in 14 cases these were burns of the upper respiratory tract. In the above-mentioned cases, victims were in close contact with an air-gas mixture which combusted and exploded. Other

Tabela 2. Liczba poszkodowanych zarejestrowanych podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej, w których miały miejsce wybuchy gazów technicznych w latach 2000-2014
Table 2. The number of casualties recorded during the interventions by Fire Protection Units, involving the explosion of industrial gases in the 2000-2014 period

	Poszkodowani / Casualties							
	Suma / Total		Śmiertelne / Fatalities		Ranni / Injured		Ranni/10 Injured/10	
	Śmiert./ Fatalities	Ranni/ Injured	O/B	R	O/B	R	O/B	R
Acetylen / Acetylene	1	51	1	0	31	20	8,6	5,6
Wodór / Hydrogen	0	22	0	0	17	5	14,2	4,2
Metan (gaz ziemny) / Methane	1	141	1	0	134	7	10,4	0,5
LPG (propan-butan) / propane butane	46	731	46	0	679	52	8,2	0,6
Suma / Total	48	945	48	0	861	84	8,6	0,8

O – osoby postronne, R – ratownicy; B – bystanders; R – rescuers;

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].
Source: Prepared by R. Mazur on the basis of statistical data PSP [25].

gła zapaleniu i wybuchowi. Pozostałe obrażenia związane są ze skutkami oddziaływania fali ciśnieniowej bezpośrednio na ofiarę zdarzenia lub pośrednio poprzez elementy konstrukcyjne budynku. W 158 przypadkach wystąpiły wszelkiego rodzaju urazy i obrażenia, w tym urazy, skaleczenia odłamkami szyb, drzwi, elementów konstrukcyjnych budynku (53), urazy wskutek zawalenia się ścian, kondygnacji (34), otarcia, stłuczenia (26), obrażenia głowy (19), klatki piersiowej (9), urazy w związku z upadkiem z wysokości (4), urazy oczu (5), przedramienia (2), nóg (6). Do wybuchów dochodzi najczęściej w sposób niekontrolowany, nieoczekiwany i towarzyszy im głośny huk. U poszkodowanych występują zburzenia zachowania, wstrząs, szok (63). Przekłada się to na przyspieszoną akcję serca, duszności (7) (ryc. 5) [25].

3.5. Statystyki światowe

Przeprowadzone badania prowadzą do wniosków, że w Europie i na świecie dostęp do baz danych związanych z wypadkami z udziałem GT jest utrudniony lub niemożliwy. Dokonano przeglądu kilkunastu źródeł danych [12-14], zaś jednymi z nielicznych materiałów, do których udało się dotrzeć autorom to statystyki duńskiej straży pożarnej, światowa baza wiedzy FACTS (Failure and Accidents Technical Information System) o wypadkach przemysłowych z udziałem substancji niebezpiecznych [14] oraz dane Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych [15].

W latach 2007-2014 w duńska straż pożarna zarejestrowała w sumie 152 interwencje z udziałem gazów technicznych, z czego najwięcej z udziałem gazu ziemnego LNG (93) i propanu-butanu (47). Z otrzymanych danych wynika, że trend liczby interwencji jest malejący w perspektywie analizowanego okresu.

Utrzymywana w domenie holenderskiej (.nl) baza danych wypadków (incydentów) w przemyśle z udziałem substancji niebezpiecznych FACTS zawiera blisko 26 tys. zdarzeń zarejestrowanych w latach 1907-2010. Dostęp do danych jest możliwy na poziomie ogólnym (darmowym) oraz rozszerzonym pełnym (komercyjnym). Wyniki przeszukiwania bazy po słowach kluczowych (*acetylene*, *propane* lub *butane* lub LPG, *natural gas*, *oxygen*, *hydrogen*) wskazuje, że w badanym okresie na świecie zarejestrowano 5935 incydentów o charakterze przemysłowym z udziałem ww. gazów technicznych (tab. 4).

Misją Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu USA jest ochrona społeczeństwa i środowiska przed ryzykiem wypadków z udziałem materiałów niebezpiecznych poprzez regulację

injuries are connected with the direct impact of a pressure wave's on the victim or its indirect impact through construction elements. In 158 cases all kinds of injuries were identified, including injuries and cuts from pieces of glass, doors, construction elements (53), injuries caused by collapsed walls and floors (34), abrasions, bruises (26), head injuries (19), chest injuries (9), injuries caused by falls from heights (4), eye injuries (5), forearm injuries (2), and leg injuries (6). Explosions usually take place in an uncontrollable and unexpected manner; thus, apart from a loud bang, victims experience behavioural disorders and shock (63). It translates into an increased heart rate and shortness of breath (7) (Fig. 5) [25].

3.5. Global statistics

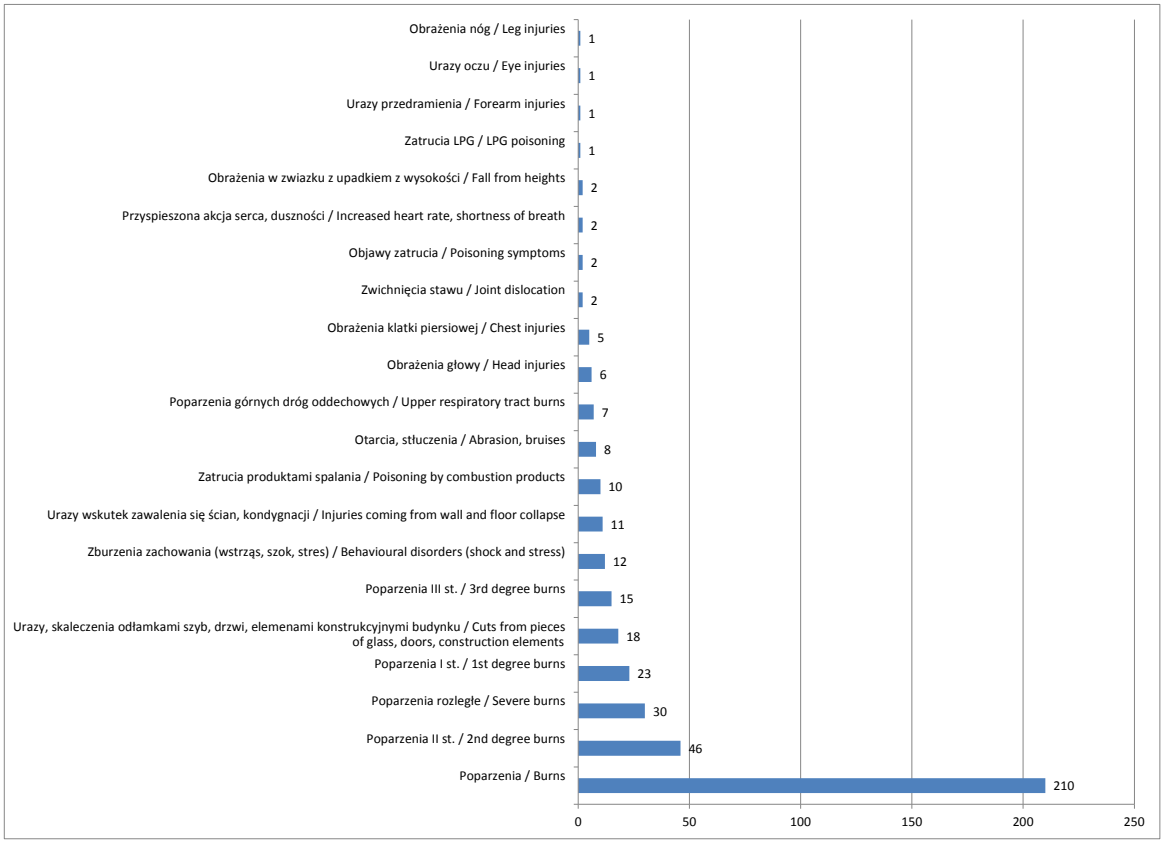
General conclusions indicate a lack of or limited access to databases connected to incidents involving industrial gases both in Europe and around the globe. Over a dozen data sources were reviewed [12-14], whereas the statistics of Danish fire services, global database FACTS (Failure and Accidents Technical Information System) on industrial incidents involving hazardous substances and data from the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [15] served as data sources.

In the 2007-2014 period, the Danish fire services registered 152 interventions with industrial gases, whereas the highest number was with the natural gas LNG (93) and propane-butane (47). The acquired data show that the number of interventions is decreasing within the analysed period of time.

The FACTS database of industrial incidents involving hazardous substances, which is located on Dutch servers (.nl), includes almost 26 thousand incidents registered in the 1907-2010 period. Access to this data is enabled at the general (free) level and at the advanced full (commercial) level. The key-word search results (acetylene, propane, butane, LPG, natural gas, oxygen, hydrogen) indicate that worldwide, in the researched period, there were 5935 incidents of an industrial nature involving the above-mentioned industrial gases (Table 4).

The mission of the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration is to protect society and at the environment against incidents with hazardous materials through reviewing national regulations,

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3



Ryc. 5. Kategorie urazów odniesionych podczas wybuchów gazów technicznych zarejestrowane podczas interwencji jednostek ochrony przeciwpożarowej w latach 2000-2014
Fig. 5. Categories of injuries sustained during the explosions of gases recorded during interventions by fire protection units in the 2000-2014 period
Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych statystycznych PSP [25].
Source: Own elaboration by R. Mazur on the basis of statistical data of the State Fire Service [25].

Tabela 3. Statystyki duńskiej straży pożarnej dotyczące liczby zdarzeń z gazami technicznymi
Table 3. Statistics of Danish fire services on the number of incidents with industrial gases

Gaz techniczny / Industrial gas	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Suma / Total
Acetylen / Acetylene					1	2	3	2	**8**
LPG (propan-butan) / Propane-Butane (LPG)	8	4	5	12	4	7	5	2	**47**
Gaz ziemny/Natural gas	44	23	12	10	4				**93**
Tlen / Oxygen					1	2	1		4
Suma / Total	52	27	17	22	10	11	9	4	152

Źródło: Opracowanie własne S. Hjere Nonnemann na podstawie Danish Emergency Management Agency.
Source: Own elaboration by S. Hjere Nonnenmann on the basis of the Danish Emergency Management Agency.

przepisów krajowych, ustanawianie standardów, edukację i badania zapobiegające występowaniu zdarzeń. Agencja dostarcza zróżnicowane dane o regulacjach federalnych i stanowych w zakresie rurociągów gazowych, materiałów niebezpiecznych, zakładów przemysłowych składujących i przetwarzających skroplone gazy naturalne (LNG). Jednym z działań jest opracowywanie raportów w formie rocznych podsumowań oraz trendów na podstawie obserwacji wieloletnich.

Na podstawie danych pozyskanych z bazy danych PHMSA – PDM (Pipeline Data Mart) zamieszczonych na stronie Agencji, opracowano statystyki zdarzeń związanych z dystrybucją, magazynowaniem, przesyłaniem gazu ziemnego LNG z okresu ostatnich 20 lat [15]. Dane pogrupowano według liczby zdarzeń, ofiar śmiertelnych, rannych i szacunkowych strat. Nie przedstawiono statystyk dotyczących zdarzeń z udziałem innych gazów technicznych, ponieważ w bazie zarejestrowanych jest jedynie 5 zdarzeń z udziałem LPG dla wszystkich stanów

setting standards, educating and performing research to prevent the incidents from happening. The Administration provides diverse data on Federal and State regulations in terms of pipelines, hazardous materials, and industrial facilities storing and processing LNG. The Administration's activities include generating reports in the form of annual summaries and trends based on long-term observations.

On the basis of data collected from the PHMSA – PDM (Pipeline Data Mart) database, posted on the Administration's website, incident statistics connected with the distribution, storage, transfer of LNG within the last 20 years were generated [15]. The data was categorised according to the number of incidents, fatalities, injured and estimated losses. Statistics on incidents involving other industrial gases were not presented, because there were only 5 incidents with LPG registered within the 2012-2014 period which points to the lack of data on other industrial gases.

Tabela 4. Światowe statystyki wypadków o charakterze przemysłowym z udziałem gazów technicznych w latach 1907-2010
Table 4. Global statistics on incidents of an industrial nature involving gases in the years 1907-2010

Słowa kluczowe / Keywords	Wynik przeszukania / Search results	Okres / Period
Acetylen / Acetylene	82	1964 - 2008
Propan lub butan lub LPG / Propane or Butane or LPG	2432	1932 - 2010
Gaz ziemny / Natural gas	1231	1907 - 2009
LNG	59	1944 - 2008
CNG	15	1996 - 2008
Tlen / Oxygen	846	1932 - 2009
Wodór / Hydrogen	1344	1921 - 2009
Suma / Total	**5935**	

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur podstawie Facts Chemical Accident Database [14].
Source: Own elaboration by R. Mazur based on Facts Chemical Accident Database [14].

w okresie 2012-2014, co wskazuje na brak danych o innych GT.

Wyniki badań wskazują, że najczęściej do wypadków dochodzi podczas dystrybucji LNG – 2568 wypadków, co pociąga za sobą 290 ofiar śmiertelnych i ok. 1000 rannych. Szacuje się, że straty sięgają blisko 991,7 mln dolarów (tab. 5) [25].

Zdecydowanie większe straty, bo na poziomie 1,6 mld dolarów notuje się podczas przesyłania gazu ziemnego. Dodatkowo straty rejestrowane są dla mniejszej liczby interwencji – 1946, w których zanotowano 42 ofiary śmiertelne i 174 rannych (tab. 6).

Najmniej interwencji zarejestrowano podczas magazynowania gazu ziemnego – 227. W bazie nie zarejestrowano ofiar śmiertelnych, a jedynie 10 rannych. Straty sięgnęły ok. 363 mln dolarów (tab. 7) [15].

The results indicate that incidents occur most frequently during the distribution of LNG – 2568 incidents, which gives 290 fatalities and around 1000 injured. It is estimated that the losses amount to USD 991.7 million (Table 5) [25].

Significantly higher losses, USD 1.6 billion, are recorded during the transmission of natural gas. What is more, losses are identified for a lower number of interventions – 1946 in which 42 fatalities and 174 injured were identified (Table 6).

The lowest number of interventions was registered during natural gas storage – 227. There were no fatalities and only 10 injured in the database. The losses amounted to USD 363 million (Table 7) [15].

Tabela 5. Liczba zdarzeń, ofiar śmiertelnych, rannych, szacunkowe straty podczas dystrybucji gazów w USA w latach 1995-2014
Table 5. The number of incidents, fatalities, injuries, and estimated losses during gas distribution in the United States in the years 1995-2014

Rok / Year	Liczba zdarzeń / Number of incidents	Ofiary śmiertelne / Fatalities	Ranni / Injured	Szacunkowe straty [$] / Estimated losses [$]
1995	97	16	43	10 950 673
1996	110	47	109	16 252 842
1997	102	9	67	12 493 163
1998	137	18	64	19 055 118
1999	118	16	80	25 913 658
2000	154	22	59	23 398 834
2001	124	5	46	14 071 486
2002	102	10	44	23 804 202
2003	141	11	58	21 032 408
2004	172	18	41	37 506 406
2005	168	15	38	497 998 741
2006	140	18	30	24 515 672
2007	150	10	32	26 356 308
2008	144	6	49	38 544 109
2009	157	9	49	31 934 310
2010	122	11	44	21 289 283
2011	120	13	53	27 789 531
2012	90	9	46	25 557 235
2013	107	9	39	18 426 443
2014	113	18	94	74 859 503
Total	**2 568**	**290**	**1 085**	**991 749 925**

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych [15].
Source: Own elaboration by R. Mazur based on data from the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [15].

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

Tabela 6. Liczba zdarzeń, ofiar śmiertelnych, rannych, szacunkowe straty podczas przesyłu gazów w USA w latach 1995-2014
Table 6. The number of incidents, fatalities, injuries, and estimated losses during transmission of gases in the United States in the years 1995-2014

Rok / Year	Liczba zdarzeń / Number of incidents	Ofiary śmiertelne / Fatalities	Ranni / Injured	Szacunkowe straty [$] / Estimated losses [$]
1995	54	2	7	9 719 250
1996	76	1	5	13 078 474
1997	68	1	5	11 658 117
1998	88	1	11	41 624 324
1999	48	2	8	15 656 834
2000	76	15	16	16 966 261
2001	75	2	5	13 731 347
2002	73	1	4	25 369 331
2003	93	1	8	48 815 101
2004	103	0	2	35 759 907
2005	160	0	5	298 074 982
2006	130	3	3	41 118 273
2007	110	2	7	61 625 942
2008	122	0	5	256 011 440
2009	105	0	11	55 911 891
2010	107	10	61	411 031 047
2011	118	0	1	123 710 870
2012	103	0	7	55 031 817
2013	105	0	2	48 962 098
2014	132	1	1	49 952 578
Suma / Total	**1 946**	**42**	**174**	**1 633 809 884**

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych [15].
Source: Own elaboration by R. Mazur based on data from the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [15].

Tabela 7. Liczba zdarzeń, ofiar śmiertelnych, rannych, szacunkowe straty podczas magazynowania gazów w USA w latach 1995-2014
Table 7. The number of incidents, fatalities injuries, the estimated losses during gas storage in the US in the years 1995-2014

Rok / Year	Liczba zdarzeń / Number of incidents	Ofiary śmiertelne / Fatalities	Ranni / Injured	Szacunkowe straty [$] / Estimated losses [$]
1995	10	0	3	238 500
1996	1	0	0	0
1997	5	0	0	420 000
1998	11	0	0	2 862 986
1999	6	0	0	2 184 287
2000	4	0	2	902 000
2001	12	0	0	9 942 878
2002	9	0	1	1 345 538
2003	4	0	0	1 793 460
2004	19	0	1	28 549 185
2005	22	0	2	142 934 775
2006	15	0	1	11 229 498
2007	21	0	0	6 108 094
2008	18	0	0	122 686 462
2009	24	0	0	17 054 105
2010	9	0	0	2 120 878
2011	10	0	0	1 786 922
2012	12	0	0	2 937 821
2013	6	0	0	1 977 657
2014	9	0	0	5 965 427
Suma / Total	**227**	**0**	**10**	**363 040 473**

Źródło: Opracowanie własne R. Mazur na podstawie danych Agencji Bezpieczeństwa Rurociągów i Materiałów Niebezpiecznych Departamentu Transportu Stanów Zjednoczonych [15].
Source: Own elaboration by R. Mazur based on data from the US Department of Transportation Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration [15].

4. Podsumowanie i wnioski

Poszerzające się możliwości i obszary zastosowania gazów technicznych skłaniają do prowadzenia gruntownych badań nad ich właściwościami fizykochemicznymi zarówno w warunkach normalnych, jak i pożarowych. Artykuł ma za zadanie podkreślić w sposób ogólny zagrożenia związane z gazami technicznymi, a następnie uzasadnić w sposób ilościowy, poprzez analizę wyników badań statystycznych, skalę i powagę tych zagrożeń.

Analiza właściwości pożarowo-wybuchowych oraz możliwych scenariuszy zdarzeń awaryjnych wskazuje jednoznacznie na poważne zagrożenie dla osób postronnych i ratowników znajdujących się w strefie rażenia wybuchów GT. Butla z palnym GT stwarza szereg zagrożeń. Może wywołać zjawisko promieniowania cieplnego od pożaru strumieniowego przy wycieku i natychmiastowym zapłonie, zagrożenie wybuchem i wybuch przestrzenny uwolnionego gazu oraz wybuch butli z natychmiastowym rozerwaniem (np. w wyniku ogrzewania butli lub niekontrolowanej reakcji rozkładu acetylenu). Jak pokazują statystyki i analizy zdarzeń awaryjnych najbardziej niebezpieczne są scenariusze z wybuchami, przy czym dla ratowników najbardziej urazowe są zdarzenia, w których dochodzi do wybuchu butli. Fakt ten ma odzwierciedlenie w zaprezentowanej statystyce.

Wnioski z analizy statystycznej należy poprzedzić ogólnymi uwagami i spostrzeżeniami w zakresie sposobu opisu (ewidencjonowania) interwencji z udziałem gazów technicznych, jak również dostępności do baz danych zawierających ww. raporty.

Jednostki Państwowej Straży Pożarnej, zakładowych straży i służb ratowniczych, ochotniczych straży pożarnych z uwagi na zakres swoich kompetencji, uprawnień, czy wyposażenia sprzętowego, zawsze będą utożsamiane jako formacje wiodące w zakresie identyfikacji i usuwania skutków zagrożeń pochodzących od szeroko rozumianych gazów, w tym gazów technicznych. **Istotnym wnioskiem płynącym z powyższego jest fakt, że ratownicy jednostek ochrony przeciwpożarowej posiadają wieloletnie doświadczenie i wiedzę w zakresie potrzeb i mechanizmów tworzenia raportów.** Warto zauważyć, że w ostatnim 20-leciu istotnie wzrosło zapotrzebowanie na „dane statystyczne", w sensie transferu danych na informację, a informacji na procesy biznesowe, poprzez zastosowanie odpowiednich mechanizmów eksploracji danych. Dwa powyższe wnioski oraz fakt, że **zakres informacji ze zdarzenia sporządzanej przez JOP nie uległ zmianie na przestrzeni ponad 20 lat**, skłaniają do sformułowania bardzo istotnego postulatu – **istnieje konieczność zmiany zakresu informacji ze zdarzenia sporządzanej przez JOP wraz z możliwością dołączania do dokumentacji operacyjnej danych multimedialnych w formie zdjęć i filmów. Brak możliwości systemowej selekcji danych z raportów w zakresie liczby zdarzeń, poszkodowanych z udziałem wybranych gazów technicznych spowodował konieczność opracowania specjalnych filtrów, których wynik obarczonych jest pewnym błędem statystycznym. Ponadto należy zmienić mechanizmy dostępu do baz danych, czyniąc je bardziej otwartymi (mobilnymi), jak również mechanizmy eksploracji i analizy danych.** Wnioski w zakresie zmian mechanizmów opisu informacji ze zdarzeń służb ratowniczych, a także dostępu do danych dotyczą zarówno źródeł danych krajowych, jak i międzynarodowych.

Badania statystyczne dotyczące interwencji z udziałem gazów technicznych pozwoliły wysunąć następujące wnioski:

1. W przeciągu roku średnio dochodzi do 2,1 tys. interwencji, w których rejestruje się ok. 70 wybuchów; najwięcej z nich stanowią wybuchy propanu-butanu – 55 rocznie, metanu – 9 rocznie, acetylenu – 2 rocznie i wodoru – raz na rok;
2. Najczęściej dochodzi do wybuchów mieszanin powietrzno-gazowych (propanu-butanu 517 razy w latach 2000-2014; metanu 92; acetylenu 9; wodortu 5), zaś rzadziej do wybuchów zbiorników butli lub instalacji

4. Conclusions

The growing possibilities and areas where industrial gases can be used require further and detailed research on their physicochemical properties, both in standard conditions and in fire conditions. The aim of this paper is to underline the threats connected with industrial gases and to present in a quantitative manner, through the analysis of statistical data, the scale and importance of these threats.

The analysis of fire-explosion properties and possible scenarios of emergency events point to the seriousness of threats for bystanders and rescuers who are in the danger zone of industrial gas explosions. A cylinder with flammable industrial gas poses a number of threats. It can cause the phenomenon of thermal radiation from jet fires during gas leakage and instant ignition, explosion threats and vapour cloud explosions of the released gas, cylinder explosions with immediate burst (for example as a result of the heating of the cylinders or uncontrolled decomposition of acetylene). As the statistics and analyses of emergency incidents indicate, incidents with explosions are the most dangerous; for rescuers, the most dangerous incidents are those in which cylinder explosions occur. This fact is reflected in the presented statistics.

The conclusions need to be preceded by general comments and notes in terms of keeping records of interventions involving industrial gases, as well as in terms of the availability of databases including the above-mentioned reports.

Units of the State Fire Service, Plant Fire and Rescue Services, and the Volunteer Fire Brigades, due to the scope of their duties, authorisation, specialised equipment, will always be regarded as the formations leading in terms of the identification and removal of incidents' effects when it comes to gases, including industrial gases. **Taking into consideration the above, an important conclusion can be made that the rescuers from firefighting units possess years of experience and knowledge in terms of needs and mechanisms of reporting**. It is worth noting that within the last 20 years, the demand for "statistical data" in the sense of transforming data into information and information into business processes through the mechanisms of data exploration has grown significantly. The two above-mentioned conclusions and the fact that **the scope of information from incidents gathered by Fire Service Units has not changed for over 20 years,** lead to a crucial conclusion – **there is a necessity to change the scope of information which these units gather from incidents with the possibility of attaching multimedia data in the form of pictures and video recordings**. **It being impossible to carry out systematic data selection in terms of the number of incidents and casualties connected with industrial gases led to the necessity of creating special filters – the results of which are burdened with statistical error. The mechanisms of accessing databases and exploring and analysing data must be changed, in order to make them more accessible.** The conclusions in terms of changes to mechanisms of describing information coming from incidents, as well as changes to access to databases, are related not only to national, but also to international, data sources.

Statistical data on interventions involving industrial gases made it possible to draw the following conclusions:

1. In an average year, there are 2,100 thousand interventions, in which 70 explosions are registered; the highest number of explosions is related to propane-butane – 55, methane – 9; acetylene – 2 and hydrogen – 1 a year.
2. The most frequent explosions are those of air-gas mixtures (propane-butane 517 times in the 2000-2014 period; methane 92; acetylene 9; and hydrogen 5), whereas explosions of cylinders or installations happen less fre-

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.3

(LPG 221; metanu 13; acetylenu 16, a wodoru 1) – warto zwrócić uwagę na względnie dużą liczbę wybuchów butli z acetylenem;
3. Odnotowuje się ok. 9 rannych osób postronnych i 1 rannego ratownika na 10 interwencji z wybuchami GT – najwięcej w przypadku wodoru (14 na 10 interwencji), metanu (10/10), acetylenu (ok. 9/10) i LPG (8/10);
4. Największy odsetek rannych ratowników obserwuje się w przypadku zdarzeń z acetylenem – blisko 6 rannych na 10 interwencji z wybuchami GT;
5. Najczęstsze kategorie urazów to oparzenia (I, II i III stopnia), urazy wskutek skaleczenia odłamkami szyb, drzwi, elementów konstrukcyjnych budynku; wstrząs, szok;
6. W przypadku statystyk międzynarodowych zauważono brak dostępu lub utrudniony dostęp do baz danych zawierających jakiekolwiek informacje nt. wybuchów gazów technicznych.

Badanie zostało zrealizowane w ramach projektu finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju (NCBR) w ramach projektu nr DOB-BIO6/02/50/2014 pt. „Opracowanie metod neutralizacji zagrożenia wybuchu wytypowanych zbiorników z gazami technicznymi, w tym alternatywnymi źródłami zasilania w środowisku pożarowym na potrzeby ratowników biorących udział w akcjach ratowniczo-gaśniczych".

Wykaz skrótów

BLEVE – Boiling Liquid, Expanding Vapour Explosion
GT – Gazy techniczne
IZ – informacja ze zdarzenia
JOP – jednostka ochrony przeciwpożarowej
LNG – skroplone gazy naturalne
LPG – Liquefied Petroleum Gas (propan-butan)
PHMSA – PDM – Pipeline Data Mart
UVCE – Unconfined Vapour Cloud Explosion
VCE – Vapour Cloud Explosion

quently (LPG 221; methane 13; acetylene 16, and hydrogen 1); the relatively high number of acetylene cylinder explosions is worth noting.
3. There are 9 injured bystanders and 1 injured rescuer identified for every 10 interventions with industrial gases – the highest numbers are in the case of hydrogen (14 for 10 interventions), methane (10/10), and acetylene (around 9/10) and LPG (8/10).
4. The highest numbers of injured rescuers are identified in acetylene incidents – almost 6 injured for every 10 interventions with industrial gas explosions.
5. The most frequently observed categories of injuries are burns (1st, 2nd and 3rd degree), and cuts from glass, doors, construction elements; and stress and shock.
6. In the case of international statistics, lack of access or limited access to databases, including information on industrial gas explosion were noted.

The research was financed by NCBR (The National Centre for Research and Development) and was performed within the project no. DOB-BIO6/02/50/2014, entitled "The establishment of ways to neutralise the threat of the explosion of selected containers containing industrial gases, including alternative energy sources in the fire environment, for rescuers taking part in firefighting activities".

List of abbreviations

BLEVE – Boiling Liquid, Expanding Vapour Explosion
GT – industrial gases
IZ – information on the incident
JOP – fire service unit
LNG – Liquefied Natural Gas
LPG – Liquefied Petroleum Gas (propane-butane)
PHMSA - PDM - Pipeline Data Mart
UVCE – Unconfined Vapour Cloud Explosion
VCE – Vapour Cloud Explosion

Literatura / Literature

[1] Jopek T., *Postępowanie podczas zdarzeń z udziałem butli acetylenowych poddanych działaniu ognia, ciepła lub wielokrotnym uderzeni*om, CNBOP-PIB, Józefów 2013.
[2] Standardowe zasady postępowania podczas zdarzeń z udziałem butli z acetylenem, KG PSP, 27.08.2015.
[3] *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVE's*, American Institute of Chemical Engineers, New York 1994.
[4] Porowski R., Ziębaczewski E., *Wybuch fizyczne typu BLEVE*, „Przegląd Pożarniczy" 2006, 1.
[5] Lesiak P., Porowski R., *Ocena skutków awarii przemysłowej w instalacjach procesowych, w tym efektu domino – część* 1, BiTP Vol. 27 Issue 3, 2012, pp. 13-26.
[6] *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapor Cloud Explosion, Flash Fires, and BLEVE's*, Center for Chemical Process Safety, New York 1994.
[7] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 29 grudnia 1999 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz. U. 1999 nr 111, poz. 1311).
[8] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z dnia 18 lutego 2011 r. w sprawie szczegółowych zasad organizacji krajowego systemu ratowniczo-gaśniczego (Dz. U. 2011 nr 46, poz. 239).
[9] Statystyki interwencji PSP. Strona internetowa Komendy Głównej PSP, http://www.straz.gov.pl/panstwowa_straz_pozarna/interwencje_psp) [dostęp: 23.10.2015].
[10] Praca zbiorowa, *Biuletyn informacyjny Państwowej Straży Pożarnej za lata 1999-2013*, Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej, Warszawa 2000-2014.
[11] Strona internetowa International Association of Fire and Rescue Services, http://www.ctif.org/, [dostęp: 15.10.2015].
[12] Brushlinsky N.N., Ahrens M., Sokolov S.V., Wagner P., *World Fire Statistics*, CTIF International Association of Fire and Rescue Services, Report No 14/2009, 19/2014, 20/2015.
[13] Brushlinsky N. N., Hall J. R., Sokolov S. V., Wagner P., Center of Fire Statistics. *World Fire Statistics*, CTIF International Association of Fire and Rescue Services, Report No 11/2006, 12/2007, 13/2008, 15/2010, 16/2011, 17/2012, 18/2013.
[14] FACTS chemical accident database, Hazardous materials accidents knowledge base, http://www.factsonline.nl/ [accessed: 15.10.2015].
[15] Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, http://www.phmsa.dot.gov/hazmat/library/erg, http://phmsa.dot.gov/hazmat. [accessed: 15.10.2015].
[16] Major Hazard Incident Data Service, http://w3.cetem.gov.br/infomimet/vercadastro1_en.asp?count=131) [accessed: 15.10.2015].
[17] EM-DAT. The International Disaster Database. Centre for Research on the Epidemiology of Disaster – CRED, http://www.emdat.be/Database [accessed: 23.10.2015].
[18] HSE (Health and Safety Executive Public Register, http://www.hse.gov.uk/noticeshistory/ [accessed: 23.10.2015].
[19] U.S. Chemical Safety Board, http://www.csb.gov/ [accessed: 23.10.2015].
[20] U.S. Environmental Protection Agency, http://www3.epa.gov [accessed: 23.10.2015].
[21] EU - Major Accident Hazards Bureau (MAHB), http://actionguide.info/m/orgs/385/ [accessed: 23.10.2015].
[22] The Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), http://www.oecd.org/about/ [accessed: 23.10.2015].

[23] Occupational Safety & Health Administration, https://www.osha.gov/oshstats/index.html [accessed: 23.10.2015].
[24] United Nations Environment Programme, Environment for development, http://www.unep.org/chemicalsandwaste/ [accessed: 23.10.2015].
[25] Mazur R., *Analiza danych statystycznych PSP w zakresie wybuchów zbiorników z gazami technicznymi w Polsce w latach 2000-2014*, CNBOP-PIB, Józefów 2015.
[26] Danish Emergency Management Agency Centre for Emergency Preparedness, www.brs.dk [accessed: 15.10.2015].

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. Robert Mazur – absolwent Dziennych Studiów Inżynierskich oraz Uzupełniających Studiów Magisterskich na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Absolwent studiów podyplomowych Wydziału Informatyki Wyższej Polsko-Japońskiej Szkoły Technik Komputerowych, studiów III st. na Wydziale Cybernetyki Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie na kierunku informatyka. Ukończył szereg kursów, szkoleń z zakresu zastosowania systemów informacji przestrzennej GIS (ArcGIS, QGIS) w bezpieczeństwie powszechnym, analityki na bazie danych ORACLE (SQL). W latach 2002-2011 asystent, kierownik laboratorium, wykładowca Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Podczas służby pełnił funkcje Dyspozytora, Dowódcy Zastępu, Pomocnika Dyżurnego Operacyjnego Miejskiego Stanowiska Kierowania w Warszawie, Zastępcy Dyżurnego Operacyjnego Kraju w Stanowisku Kierowania Komendanta Głównego PSP. Od 2011 roku pracuje na stanowisku Starszego Specjalisty w Krajowym Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej, obecnie w Wydziale Przetwarzania Danych Operacyjnych. Na co dzień zajmuje się praktycznym zastosowaniem technik analizy danych (data mining) oraz technologii GIS m.in. w procesie planowania operacyjnego Państwowej Straży Pożarnej.
Robert Mazur, M.Sc.Eng. – Graduate of full-time engineering studies and complementary Master Studies at the Faculty of Fire Safety Engineering, The Main School of Fire Service. A graduate of postgraduate studies at the Faculty of Computer Science, Polish-Japanese Academy of Information Technology, a graduate of third cycle studies in Information Technology at the Faculty of Military Cybernetics, the Military University of Technology in Warsaw. Successfully completed a number of training sessions and workshops in the spatial information system GIS (ArcGIS, QGIS), public safety, and analytics in the ORACLE database (SQL). In the period 2002-2011 worked as an assistant, laboratory manager, lecturer at the Main School of Fire Service. During his service, he performed the function of Dispatcher, Truck Company Commander, Assistant to the Operations Duty Officer at the Municipal Command Centre in Warsaw, Deputy Operations Duty Officer at the Command Centre of the State Fire Service. Since 2011 has worked as a Senior Specialist at the National Centre for Coordination of Rescue Operations and Civil Protection of the State Fire Service; currently at the Department of Processing Operational Data. On an everyday basis, R. Mazur is involved in the practical use of methods of data analysis (data mining) and GIS technologies, for example in the process of o the operational planning of the State Fire Service.

mł. bryg. dr inż. Rafał Porowski – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz Wydziału Mechanicznego, Energetyki i Lotnictwa Politechniki Warszawskiej. W latach 2009-2010 w ramach stypendium Fulbrighta pracował w California Institute of Technology w USA. Obecnie pracuje jako adiunkt w Szkole Głównej Służby Pożarniczej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego.
Rafał Porowski, Ph.D., Eng. – Graduate of the Main School of Fire Service and the Faculty of Power and Aeronautical Engineering, the Warsaw University of Technology. In 2009-2010 thanks to a Fullbright scholarship worked at the California Institute of Technology, USA. Currently works as an Assistant Professor at the Main School of Fire Service, the Faculty of Fire Safety Engineering.

mł. bryg. mgr inż. Wojciech Klapsa – absolwent Dziennych Studiów Magisterskich na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Absolwent Wojskowej Akademi Technicznej w Warszawie na Wydziale Inżynierii, Chemii i Fizyki Technicznej na kierunku chemia. Absolwent studiów podyplomowych na kierunku Bezpieczeństwo, Higiena Pracy i Ergonomia w Wyższej Szkole Finansów i Zarządzania w Warszawie. Wieloletni pracownik Komendy Wojewódzkiej PSP w Warszawie w Wydziale Kontrolno-Rozpoznawczym. Od 2012 roku pełni służbę w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie w Zespole Laboratoriów Procesów Spalania i Wybuchowości. Obecnie zajmuje stanowisko Zastępcy Kierownika Laboratorium.
Wojciech Klapsa, M.Sc.Eng. – Graduate of full-time Masters Studies at the Faculty of Fire Safety Engineering, the Main School of Fire Service. A graduate of the Military University of Technology, Faculty of Engineering, Chemistry and Technical Physics (major in Chemistry). A graduate of postgraduate studies in Safety, Occupational Health and Ergonomics at the University of Finance and Management in Warsaw. A long-time employee of the State Fire Service in Warsaw at the Department of Control and Identification. Since 2012, W. Klapsa has served at the Scientific and Research Centre for Fire Protection, National Research Institute in the Laboratory of Combustion Processes and Explosions. He is currently a Deputy Manager of the Laboratory.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 51–66

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.4

prof. dr hab. inż. **Marian Gwóźdź**[1]
mgr inż. **Piotr Woźniczka**[1]
mgr inż. **Anna Tkaczyk**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 06.10.2015;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 04.05.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Odbudowa stalowych hal przemysłowych uszkodzonych w przebytym pożarze[3]

The Reconstruction of Fire-Damaged Industrial Steel Halls

Восстановление стальных конструкций промышленных цехов, поврежденных во время пожара

ABSTRAKT

Cel: Opracowanie w ramach programu odnowy optymalnej strategii odbudowy uszkodzonych szkieletów nośnych stalowych hal przemysłowych po przebytym pożarze.
Metoda: Analiza przypadków stalowych hal uszkodzonych w pożarze, różniących się konstrukcją, klasą konsekwencji zniszczenia, zasięgiem ekspozycji termicznej i skalą uszkodzeń pożarowych. Inwentaryzacja skutków pożarów w trzech analizowanych budynkach przemysłowych, należących do klas konsekwencji zniszczenia CC3 lub CC2, zdeterminowała koncepcje odbudowy hal w opracowanych projektach remontów.
Wyniki: We wszystkich badanych przypadkach skutki pożaru uzewnętrzniły się w postaci mniej lub bardziej nasilonych imperfekcji geometrycznych: lokalnych i globalnych. Projekty wykonawcze remontów powypadkowych omawianych budynków opracowano na podstawie modelowania komputerowego układów prętowych płaskich lub przestrzennych, z uwzględnieniem udokumentowanych imperfekcji geometrycznych. Ocena niezawodności konstrukcji stalowej po pożarze jest wtedy możliwa według procedur zamieszczonych w Eurokodzie 3. W konsekwencji przyjętych strategii uzdatniania, budynki zostały przywrócone do eksploatacji niedługo po pożarze, a skutki finansowe przestojów awaryjnych zostały ograniczone do niezbędnego minimum.
Wnioski: Na etapie projektowania nowych konstrukcji stalowych, o dużej kubaturze i stosunkowo niewielkim obciążeniu ogniowym, uzasadnione jest przeprowadzenie studium pogłębionej analizy oddziaływania pożaru na konstrukcję nośną, przy użyciu zaawansowanych modeli numerycznych MES. Drugą grupę budynków kubaturowych o konstrukcji stalowej stanowią istniejące hale stalowe, w których doszło do pożaru lokalnego lub rozwiniętego i uszkodzeń elementów konstrukcji. Strategia opracowania programu naprawczego obejmuje wtedy na ogół wymianę lub wzmocnienie elementów trwale zdeformowanych. Kwestią otwartą dla projektanta jest ustalenie zakresu koniecznych napraw i wzmocnień, który wynika z przyjętego modelu numerycznego w kontrolnych obliczeniach statycznych oraz akceptowanych przez użytkownika wartości imperfekcji geometrycznych konstrukcji. Dodatkowym ważnym czynnikiem, który należy uwzględnić w programie naprawczym, jest czas uzdatniania obiektu po pożarze, ponieważ każdy dzień przestoju awaryjnego oznacza zwykle dla użytkownika wymierne straty finansowe. Proponowane procedury obliczeniowe w zakresie modelowania i oceny niezawodności konstrukcji stalowych, wyprowadzone z rekomendacji Eurokodu 3, w wielu praktycznych przypadkach uszkodzeń pożarowych konstrukcji budynków halowych są wystarczające do oceny ich trwałości. Pracochłonne, całościowe specjalistyczne analizy konstrukcji MES, uwzględniające przepływy ciepła i wynikającej z tych przepływów przestrzennych deformacji stalowych elementów prętowych nie są w takich przypadkach konieczne.

Słowa kluczowe: pożar, niezawodność, trwałość pożarowa, szkielety stalowe, hale
Typ artykułu: studium przypadku – analiza zdarzeń rzeczywistych

ABSTRACT

Objective: Development, within the renewal programme, of optimum reconstruction strategy for damaged bearing structures of fire-damaged steel industrial halls.
Method: Case analysis of fire-damaged steel halls differing in structure, consequence class, thermal exposure range and scale of fire damage. Inventory of fire effects in three analysed industrial buildings belonging to consequence classes CC3 or CC2 determined the accepted hall reconstruction strategies in prepared renovation designs.
Results: In all the cases examined, the impact of fire expressed itself in the form of more or less pronounced geometrical imperfections of local and global nature.

[1] Politechnika Krakowska / Cracow University of Technology; margwo@pk.edu.pl;
[2] Biuro Budowlane BAUKO s.c.
[3] Procentowy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / Percentage contribution: M. Gwóźdź – 40%, A. Tkaczyk – 30%, P. Woźniczka – 30%;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4

Designs for post-accident repairs of these buildings were prepared based on the computer modelling of 2D or 3D bar structures including modelling of documented geometrical imperfections. The assessment of steel structure reliability after a fire was then possible in line with the procedures provided for in Eurocode 3. As a consequence of the adopted structural-improvement strategy, the buildings were returned to service soon after the fire, and the financial consequences of downtime were limited to the necessary minimum.
Conclusions: During the designing of new steel structures, especially in the case of buildings characterised by a large volume and a relatively low fire load, an in-depth analysis of fire action on the bearing structure, using advanced FEM numerical models, is justified. The existing steel halls, in which a localised or fully developed fire occurred, resulting in structural damage, constitute the second group of buildings having steel-bearing structure. The strategy for preparing a recovery programme in such a case involves the replacement with new components or the strengthening of permanently deformed structural components. The scope of the required repairs and reinforcements, being a result of the numerical model assumed for control static calculations and user-accepted values of geometrical imperfections in the structure, remains an open issue for the designer. The proposed computational procedures in the field of modelling and evaluation of the reliability of steel structures, derived in accordance with the recommendation in Eurocode 3, in many real-life cases of fire-damaged hall buildings are sufficient to estimate their durability. The time consuming, comprehensive FEM analyses of the structures taking into account the heat flow during fire and the resultant 3D deformations of the steel bar components are not necessary in such cases.

Key words: fire, reliability, fire durability, steel frames, halls
Type of article: case study – analysis of real-life events

АННОТАЦИЯ

Цель: Разработка в рамках программы восстановления оптимальной стратегии приведения в рабочее состояние стальных несущих конструкций промышленных цехов, поврежденных во время пожара.
Метод: Анализ случаев стальных цехов, поврежденных огнем, отличающихся конструкцией, категорией последствий разрушения, тепловым диапазоном экспозиции и масштабом ущерба от пожара. Инвентаризация последствий пожара в трех анализируемых промышленных зданиях, относящихся к категории последствий разрушений CC3 или CC2, позволила принять стратегии восстановления цехов в разработанных проектах ремонта.
Результаты: Во всех исследуемых случаях последствия пожара проявились в виде более или менее значительных геометрических отклонений: местном и глобальном.
Рабочие проекты послеаварийных ремонтов этих зданий были разработаны на основе компьютерного моделирования плоских или пространственных стержневых систем, в том числе зафиксированного геометрического отклонения. Оценка надежности стальных конструкций после пожара является в этом случае возможной в соответствии с процедурами, перечисленными в Еврокоде 3. В результате принятых стратегий ремонта здания вскоре после пожара были переданы в эксплуатацию, а финансовые последствия аварийного простоя были сведены к минимуму.
Выводы: В стадии проектирования новых стальных конструкций, особенно в случаях зданий большой кубатуры и относительно низкой пожарной нагрузки, стоит провести углубленный анализ влияния пожара на опорную конструкцию с использованием продвинутых численных моделей МКЭ.
Вторую группу больших зданий стальной конструкции составляют стальные залы, в которых произошел пожар местного или глобального характера и повреждения конструктивных элементов. Стратегия разработки программы восстановления включает в себя замену или укрепление здеформированных элементов. Для проектировщика остается открытым вопрос определения масштаба необходимых ремонтных работ и создания укреплений, который вытекает из принятой вычислительной модели управления в статических расчетах и принятой пользователем величины отклонений геометрических конструкций. Еще одним важным фактором, который необходимо учитывать в программе восстановления является время ремонта объекта после пожара, потому что каждый день аварийного простоя обычно означает ощутимые финансовые потери для пользователя. Рредложенные методики расчета в моделировании и оценке надежности стальных конструкций, примененные согласно рекомендации Еврокода 3, во многих практических случаях повреждения конструкций цехов здания в результате пожара, достаточны для оценки их устойчивости. Трудоемкие, целостные специализированные анализы конструкций МКЭ с учетом тепловых потоков и пространственных деформаций стальных стержневых элементов, появляющихся в их результате, не являются необходимыми в этих случаях.

Ключевые слова: пожар, надежность, пожароустойчивость, стальные каркасы, цехи
Вид статьи: тематическое исследование – анализ реальных случаев

1. Wprowadzenie

W artykule opisano trzy różne przypadki pożarów hal przemysłowych, należących do klasy konsekwencji zniszczenia CC2 lub CC3. W przypadku hali 1 i 2 stwierdzone przestrzenne uszkodzenia pożarowe elementów konstrukcyjnych miały zróżnicowany zasięg, natomiast w przypadku hali 3, pomimo długotrwałej akcji gaśniczej, w ogóle nie doszło do dużych trwałych deformacji układów nośnych. Badane hale różnią się konstrukcją, kubaturą budynków, programem funkcjonalnym. Odmienne są również skutki ekonomiczne i społeczne pożarów każdego z tych obiektów. Decyzje o uzdatnieniu budynków podjęte zostały przez ich właścicieli niezwłocznie po ugaszeniu pożarów. Wszystkie trzy hale były zaprojektowane w latach, w których obowiązywały normy krajowe, a po przebytych pożarach, programy naprawcze oraz oceny niezawodności oparto na nowej generacji norm europejskich, a szczególności

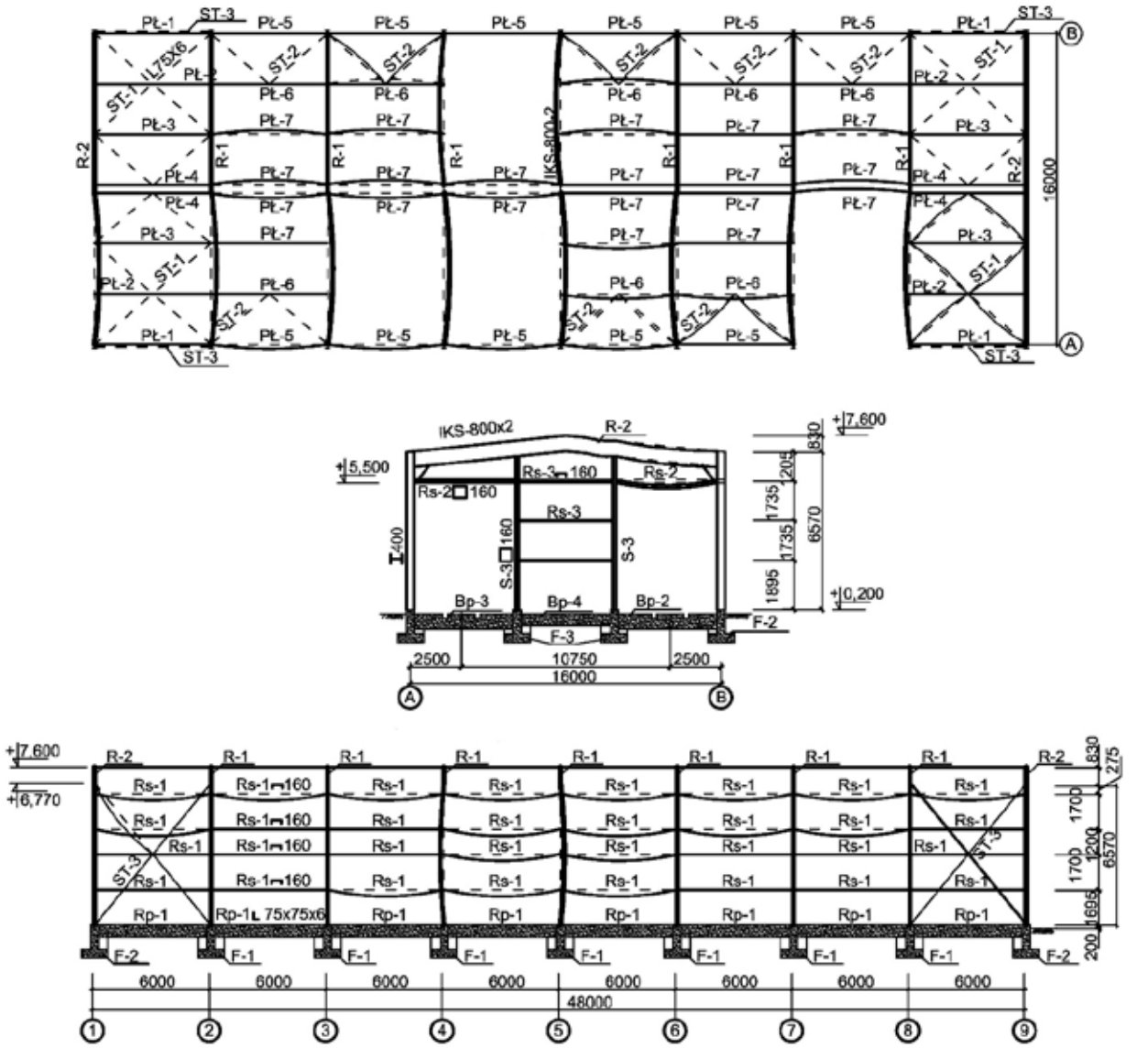
1. Introduction

The article describes three different cases of fire in industrial halls, categorised in the CC2 and CC3 consequence classes. The spatial fire damage to structural components in halls 1 and 2 had a varied extent; hall 3, despite a long fire-fighting action, did not sustain any major permanent deformations to its bearing systems. The analysed halls differed in terms of their structures, volumes, and functional characteristics. The economic and social impacts of the fires were also different in each of the analysed buildings. As soon as the fires were extinguished, their owners decided to introduce improvement measures. All three halls were designed in a period when national standards were in force, and the repair programmes and reliability evaluations which followed the fires complied with the new generation of European standards, in particular Eurocode 3. At the same time, restoration pro-

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 51–66
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4

Eurokodzie 3. Jednocześnie dla wszystkich trzech budynków opracowano programy ich naprawy według odmiennych koncepcji ich odbudowy, które opisano w dalszej części artykułu.

grammes were developed for each of the three buildings, in accordance with the different reconstruction concepts described further below.



Ryc. 1. Schemat hali 1 oraz inwentaryzacja prętów układu zdeformowanych termicznie [1]
Fig. 1. Hall 1 scheme and the inspection of the heat-deformed structural bars [1]

Ryc. 2. Widok hali 1 po ugaszonym pożarze [1]
Fig. 2. Hall 1 view after the fire [1]

Ryc. 3. Przestrzenne deformacje termiczne rygli ramy z profili IPN 400 (hala 1) [1]
Fig. 3. 3D thermal deformations of girts made of IPN 400 sections (hall 1) [1]

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4

2. Identyfikacja uszkodzeń pożarowych przykładowych hal przemysłowych

2.1. Hala 1

Omawiana hala jest obiektem parterowym należącym do klasy konsekwencji zniszczenia CC2. Jest to budynek niepodpiwniczony, o powierzchni zabudowy 770 m^2 i kubaturze 5780 m^3. Jego budowa została opisana w pracy [1]. Schemat stalowego układu ramowego hali wraz z systemem stężeń ściennych i stężeń dachowych pokazano na ryc. 1. Trwający wiele godzin pożar surowców chemicznych spowodował katastrofę budowlaną stalowej konstrukcji nośnej hali terminalu przeładunkowego (por ryc. 2). Zniszczeniu uległ dach budynku, który zawalił się w strefie intensywnego pożaru (ryc. 3). Wszystkie rygle ram nośnych uległy dużym deformacjom termicznym, a znaczna część obudowy hali wraz z ryglami ściennymi przestała spełniać funkcję osłonową. Stosunkowo dobrze przetrwały pożar słupy główne ram poprzecznych, które zostały zdeformowane termicznie tylko lokalnie. Do pożaru doszło latem, przy obciążeniach dachu wywołanych wyłącznie ciężarem pokrycia blachą trapezową. W związku z tym zinwentaryzowane przestrzenne deformacje prętów mają charakter wyłącznie termiczny.

2.2. Hala 2

Pożar instalacji technologicznej w hali 2 doprowadził do katastrofy budowlanej stalowej konstrukcji nośnej dachu w nawie A-B budynku głównego elektrociepłowni. Budynek należy do klasy konsekwencji zniszczenia CC3. Został opisany w pracy [1]. Schemat rzutu poziomego budynku oraz przyjęte oznaczenia osi systemowych pokazano na ryc. 4. W strefie intensywnego pożaru zniszczeniu uległa konstrukcja dachu (ryc. 5 i ryc. 6), która spadając, nasiliła skalę zniszczeń urządzeń technologicznych. Do pożaru doszło zimą, w trakcie silnych mrozów, przy słabo zaśnieżonych połaciach dachu z ciężkim pokryciem z prefabrykowanych płyt betonowych, które przyśpieszyły katastrofę budowlaną. Utworzony „szyb wentylacyjny" pomiędzy osiami 7-10 uchronił przyległą konstrukcję nośną przed ogrzaniem powyżej temperatury pełzania stali. Przeprowadzone pomiary powypadkowe przestrzennych deformacji geometrycznych elementów prętowych dachu w strefach przyległych do osi 7 i 10 według ryc. 6 nie wykazały wartości przekraczających tolerancji wykonania według normy PN-EN 1090-2 [2]. Tolerancje wymiarowe według normy [3] zostały przekroczone tylko dla niektórych elementów obudowy ścian w strefie pożaru.

2.3. Hala 3

Omawiana hala jest obiektem parterowym, dwunawowym, klasy konsekwencji zniszczenia CC2, niepodpiwniczonym, z niepełną obudową ścian, o powierzchni zabudowy 1314 m^2 i kubaturze 12 337 m^3. Do pożaru doszło zimą (ryc. 7) przy niezaśnieżonych połaciach dachu oraz silnych wiatrach. Trwający kilka dni pożar surowców wtórnych kilkakrotnie przygasał i rozgorzał ponownie. Przeprowadzona po pożarze inwentaryzacja uszkodzeń elementów konstrukcyjnych wykazała, że obudowę ścian i pokrycie dachu z blachy trapezowej w całości należy wymienić, ponieważ arkusze są zdeformowane, z uszkodzonymi (ściętymi) łącznikami uszczelniającymi i głównymi. Ponadto zostały zdeformowane przestrzennie stężenia prętowe wiotkie pomiędzy osiami 2-3 i 5-6 oraz rygle ścian zewnętrznych w osiach B i E (ryc. 8). Pozostałe elementy nośne, czyli płatwie dachowe i ramy poprzeczne, zostały zdeformowane tylko lokalnie albo w ogóle nie doznały deformacji termicznych widocznych gołym okiem. Przyjmując oznaczenie osi systemo-

2. The identification of fire-related damage in the exemplar industrial halls

2.1. Hall 1

The analysed hall is a one-floor, slab-on-grade building in the CC2 consequence class, with a developable area of 770 m^2 and a volume of 5780 m^3. Its design is described in [1]. A schematic depiction of the hall's steel frame layout, along with the system of wall and roof bracings, is shown in Fig. 1. A fire among chemical materials, lasting several hours, caused the collapse of the steel superstructure in the trans-shipment terminal (cf. Fig. 2). The roof sustained major damage and collapsed in the zone of extensive fire (Fig. 3). Thermal deformations occurred in every girt within the load-bearing frames, and a large part of the hall's sheathing, including wall girts, lost its shielding functionality. The main columns of transverse frames withstood the fire fairly well and only suffered local thermal deformations. The fire broke out in the summer, with the roof loads resulting exclusively from troughed sheet used as the roofing. Therefore, the spatial deformations of the bars recorded in the inspection procedure were of a solely thermal nature.

2.2. Hall 2

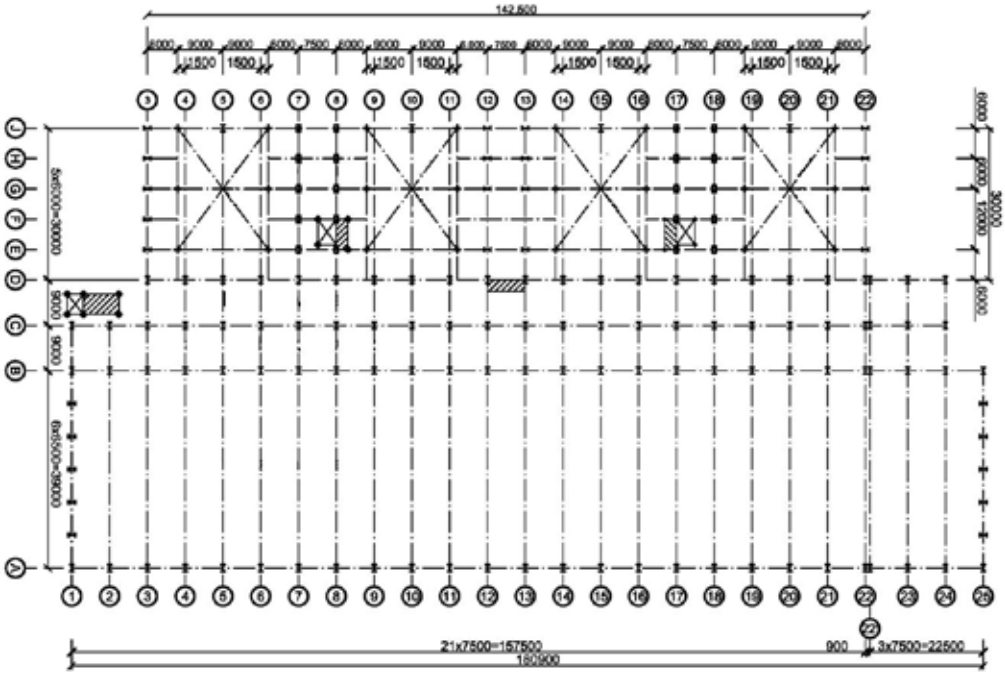
The fire in the technological section of hall 2 resulted in the structural collapse of the steel superstructure of the roof in aisles A-B of the main CHP plant building. The building belongs in the CC3 consequence class and is described in a publication [1]. A schematic drawing of the floor plan of the building and the adopted designations of the system axles are presented in Fig. 4. In the high-fire zone, the roof structure was destroyed (Figs 5 and 6) and, in falling down, added to the damage of the technological equipment. The fire broke out in winter, in freezing temperatures and with a light snow cover on a roof heavy laden with prefabricated concrete slabs which contributed to the structural collapse. The "air shaft" between axles 7-10 provided protection to the adjacent superstructure against heating above the steel creep temperature. The post-accident measurements of the spatial geometric deformations of the roof's bar components in the zones adjacent to axles 7 and 10, as shown in Fig. 6, did not reveal any values in excess of the manufacturing tolerances as per PN-EN 1090-2 [2]. Dimensional tolerances in line with standard [3] were exceeded only for some components of the wall sheathing within the fire zone.

2.3. Hall 3

The analysed hall is a one-floor, two-aisle, slab-on-grade building in the CC2 consequence class with incomplete wall sheathing; developable area: 1314 m^2, cubature: 12337 m^3. The fire broke out in winter (Fig. 7) during strong winds and with the roof surfaces not covered by snow. The fire among recyclable materials which lasted several days would repeatedly die down, only to flare up again. The inspection of damage to the structural components revealed that the wall sheathing and the roofing troughed sheets should be completely replaced because the sheets were deformed, including damaged (cut off) sealing and main connectors. Spatial deformations also occurred in structural-rod pliant bracings between axles 2-3 and 5-6, and the girts in the external walls in axles B and E (Fig. 8). In other load-bearing elements, i.e. roof purlins and transverse frames, deformation occurred only locally, or no thermal deformation visible to the naked eye was found. With the designation of the system axles adopted as shown in Fig. 9, Table 1 contains a list of the geometric imperfections

wych według ryc. 9, w tabeli 1 zestawiono zinwentaryzowane po pożarze imperfekcje geometryczne uszkodzonych elementów prętowych ram poprzecznych i podłużnych hali.

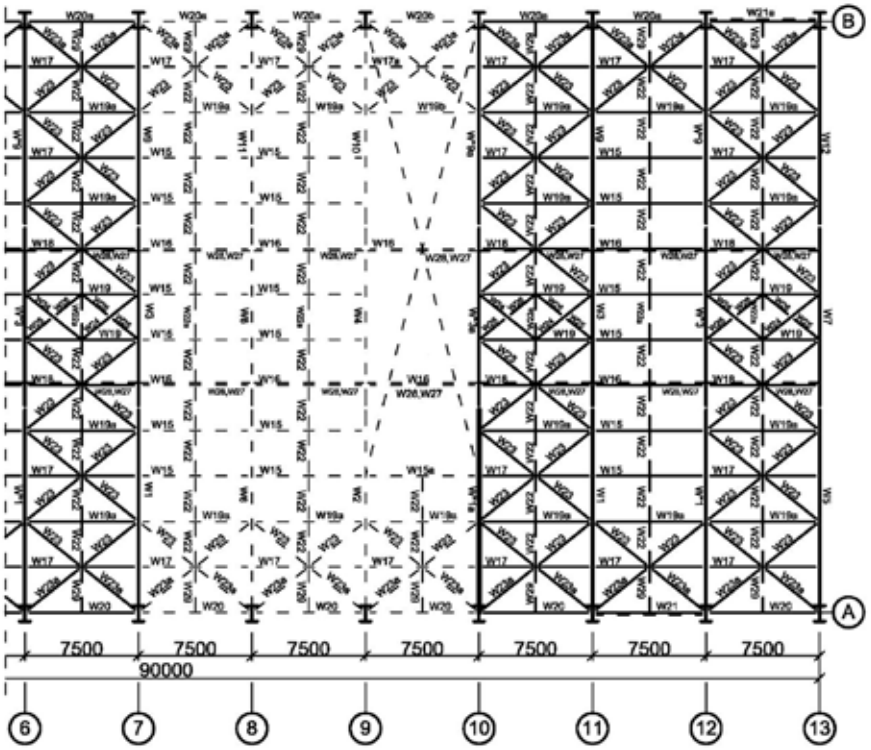
of the damaged structural-rod components in the transverse and longitudinal frames of the hall, listed in the inspection procedure after the fire.



Ryc. 4. Rzut poziomy dachu budynku głównego (hala 2) [1]
Fig 4. The roof plan of the main building (hall 2) [1]

Ryc. 5. Zniszczony w pożarze dach maszynowni hali 2 pomiędzy osiami 7-10 [1]
Fig. 5. The roof of the machinery area in the fire-destroyed hall 2, between axles 7-10 [1]

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4



Ryc. 6. Inwentaryzacja prętów dachu zniszczonych w pożarze (hala 2) [1]
Fig. 6. The inspection of the roof bars destroyed in the fire (hall 2) [1]

Tabela 1. Inwentaryzacja deformacji geometrycznych prętów ram hali 3 po pożarze
Table 1. The inspection of the geometrical deformations of hall 3 bars after the fire

Rama nr/ Frame No.	Element/ Component	Rodzaj imperfekcji/Type of imperfection	Kierunek/ Direction	Wartość/ Value	Tolerancja wg/Tolerance according to EN 1090
Rama 1/Frame 1	słup/column 1E	wygięcie łukowe/bow deflection $e_{fi,o}$	słaba oś/weak axis z-z	90 mm	$\frac{h}{750}$ = 12 mm
Rama 2/Frame 2	rygiel/girt	pofalowanie pasa/ waving flange Δ	oś pręta/axis of the bar x-x	20 mm	$\frac{b}{100}$ = 3 mm
Rama 6/Frame 6	rygiel/girt	wybrzuszenie środnika/ deforma-tion of the web Δ	oś pręta/axis of the bar x-x	45 mm	$\frac{h_w}{100}$ = 10 mm
Ramy/Frames B; E	rygle/girt	wygięcie łukowe/bow deflection $e_{fi,o}$	silna oś/strong axis y-y	30-50 mm	$\frac{l}{500}$ = 12 mm

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

3. Programy naprawcze badanych hal

3.1. Kryterium niezawodności konstrukcji metalowych w warunkach pożaru

Warunek niezawodności (kryterium R wg Eurokodu 3 lub 9) w przypadku ogólnym ekspozycji pożarowej w okresie *t* przyjmuje postać:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad (1)$$

gdzie: $E_{fi,d}$ – wartość obliczeniowa efektu oddziaływań w sytuacji pożarowej, określona wg normy PN-EN 1991-1-2 [4], z uwzględnieniem termicznych efektów rozszerzalności i deformacji; $R_{fi,d,t}$ – odpowiednia nośność obliczeniowa w sytu-

3. The repair programmes for the analysed halls

3.1. The criterion of reliability of steel structures during fire

The criterion of reliability (the R criterion as per Eurocode 3 or 9) in a general case of exposure to fire during period *t,* is as follows:

$$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t} \quad (1)$$

where: $E_{fi,d}$ – the calculation value of the effect of impacts in a fire event, as per PN-EN 1991-1-2 [4], with the thermal effects of expandability and deformation included; $R_{fi,d,t}$ – the appropriate calculation load capacity in a fire event. The ef-

acji pożarowej. Efekty oddziaływań wyznacza się dla czasu t = 0, uwzględniając współczynniki kombinacji $\psi_{1,1}$ lub $\psi_{2,1}$, zgodnie z PN-EN 1991-1-2. W dopuszczonym przez normy [5-6] podejściu uproszczonym, efekty oddziaływań $E_{fi,d}$ w sytuacji pożarowej można wyznaczać, stosując odpowiednią redukcję efektów E_d uzyskanych z analizy konstrukcji w temperaturze normalnej wg wzoru:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} E_d \quad (2)$$

Wykresy funkcji współczynnika redukcyjnego η_{fi} w zależności od stosunku dominujących obciążeń zmiennych do stałych $Q_{k,1}/G_k$ i dla różnych wartości współczynnika kombinacyjnego $\psi_{fi} = \psi_{1,1,}$ podano w normie [4].

Nośność obliczeniowa $R_{fi,d,t} = R_{fi,d,t}$ $(X_{fi,d,} A_d)$ jest funkcją charakterystyk geometrycznych A_d i obliczeniowych właściwości mechanicznych materiału $X_{fi,d}$ określonych zależnością:

$$X_{fi,d} = \frac{k_\theta X_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (3)$$

gdzie: X_k – wartość charakterystyczna właściwości wytrzymałościowej lub modułu Younga (ogólnie f_k lub E_k) w temperaturze otoczenia; k_θ – współczynnik redukcyjny $(X_{k,\theta}/X_k)$ właściwości wytrzymałościowej lub „stałej materiałowej" zależny od temperatury θ, $X_{k,\theta}$ – wartość charakterystyczna cechy, zależna od temperatury θ, $\gamma_{M,fi}$ – współczynnik nośności. W przypadku ekspozycji termicznej trwającej do 2 godzin, konwersja termiczna rzeczywistej lub umownej granicy plastyczności f_θ w temperaturze pożarowej q jest określona wzorem:

$$f\theta = k\theta \cdot f_k \quad (4)$$

Analogiczna konwersja termiczna modułu sprężystości podłużnej E_θ w temperaturze pożarowej jest określona wzorem:

$$E_\theta = k_\theta . E_k \quad (5)$$

Wartości współczynników konwersji k_θ dla właściwości mechanicznych stali konstrukcyjnych zostały podane w normie [5], a dla stopów aluminium w normie [6]. Przeprowadzona w p. 3 ocena trwałości pożarowej analizowanej hali przemysłowej uwzględnia normowe wzory (1)-(5) przytoczone wyżej.

fects of impacts are determined for time t = 0, taking into account coefficient ratios of $\psi_{1,1}$ or $\psi_{2,1}$, as per PN-EN 1991-1-2. According to the simplified approach permitted by standards [5-6], the effects of impacts $E_{fi,d}$ in a fire event can be determined through the appropriate reduction of effects E_d obtained in the analysis of the structure at normal temperatures, with the following formula:

$$E_{fi,d} = \eta_{fi} E_d \quad (2)$$

The graphs of the functions for the reduction coefficient η_{fi}, depending on the correlation between the dominant variable loads and constants $Q_{k,1}/G_{k,}$ and for various values of the combination coefficient $\psi_{fi} = \psi_{1,1,}$ are provided in standard [4].

The computational load capacity $R_{fi,d,t} = R_{fi,d,t}$ $(X_{fi,d,} A_d)$ is the function of geometric characteristics A_d and the computational mechanical properties of material $X_{fi,d,}$ defined with the correlation of:

$$X_{fi,d} = \frac{k_\theta X_k}{\gamma_{M,fi}} \quad (3)$$

where: X_k – is the characteristic value of the strength property or the Young's modulus (generally f_k or E_k) at the temperature of the environment; k_θ – the reduction coefficient $(X_{k,\theta}/X_k)$ of the strength property, or the "material constant", depending on the temperature θ, $X_{k,\theta}$ – the characteristic value of the property, dependent on the temperature θ, $\gamma_{M,fi}$ – the load coefficient. In the case of thermal exposure of up to 2 hours, the thermal conversion of actual or conventional plasticity limit f_θ in a fire temperature θ takes the following formula:

$$f\theta = k\theta \cdot f_k \quad (4)$$

Similarly, the thermal conversion of the module of longitudinal resilience E_θ in the fire temperature is expressed as:

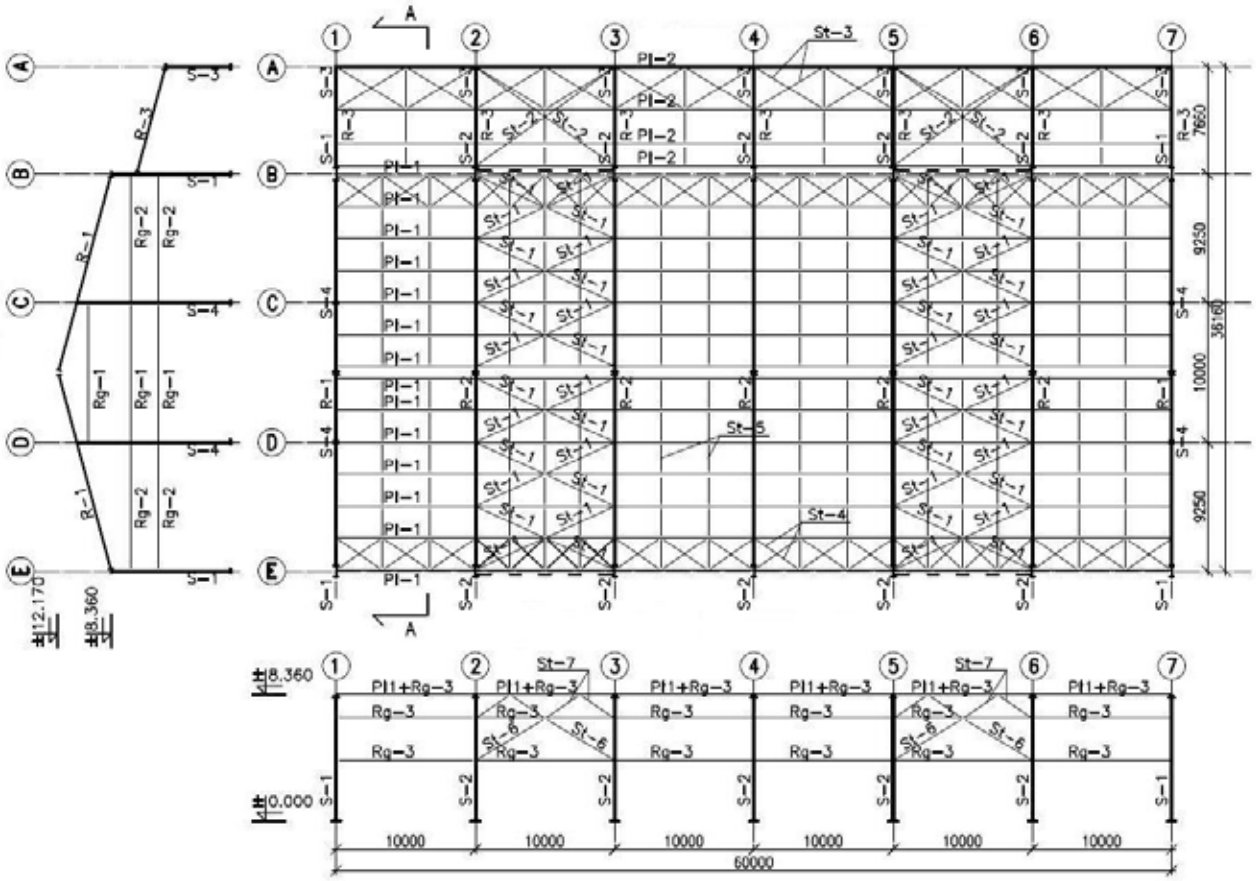
$$E_\theta = k_\theta . E_k \quad (5)$$

The values of coefficients of conversion k_θ for the mechanical properties of structural steel are specified in standard [6], and for aluminium alloys in standard [6]. The fire resistance of the analysed industrial hall was assessed with regard to the standard-compliant formulas (1-5) listed above.

Ryc. 7. Pożar hali 3
Fig. 7. The fire in hall 3
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4

Ryc. 8. Widok hali 3 po pożarze
Fig. 8. A view of hall 3 after the fire.
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 9. Schemat hali 3 – przyjęte oznaczenia osi systemowych
Fig. 9. A schematic view of hall 3 – the adopted denotations of system axles
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

3.2. Kryteria niezawodności hal stalowych uszkodzonych w pożarze

Długotrwałe działanie temperatury na konstrukcję stalową w pożarze rozwiniętym, jak w przypadku hali 1, prowadzi do dużych przestrzennych deformacji prętów i dyskwalifikacji całej konstrukcji. Przykład hali 3 wskazuje jednak, że możliwe są inne scenariusze pożaru – w których pręty ram nośnych i ich złącza montażowe uszkadzane tylko lokalnie w jednej płaszczyźnie – w rozumieniu kwalifikacji imperfekcji obliczeniowych wg normy PN-EN 1993-1-1 [7].

Imperfekcje lokalne pojedynczych prętów w normie [7] zostały zdefiniowane w postaci wstępnych wygięć łukowych prętów prostych, o wartości względnej strzałki wygięcia e_o/L wyspecyfikowanej dla pięciu klas imperfekcji w tablicy 5.1 cytowanej normy. Nie ma żadnych przeszkód, aby w projektach uzdatniania hal stalowych po pożarze sprawdzać warunki nośności pojedynczych prętów ram z uwzględnieniem zinwentaryzowanych, ponadnormatywnych trwałych wygięć łukowych $e_{fi,o}$. Kryterium niezawodności w trwałych sytuacjach projektowych przyjmuje wtedy postać:

$$E_d \le \chi R_{d,} \tag{6}$$

gdzie: E_d – wartość efektu oddziaływań w trwałych sytuacjach obliczeniowych wg normy PN-EN 1990, R_d – odpowiednia nośność obliczeniowa, χ – współczynnik stateczności ogólnej (wyboczenia lub zwichrzenia), który według propozycji własnej można wyrazić wzorem:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \overline{\lambda}^2}} \tag{7}$$

$$\Phi = 0.5(1+ \frac{Ae_{fi,o}}{W} + \overline{\lambda}^2) \tag{8}$$

We wzorze (8) oznaczono: A, W – pole powierzchni i wskaźnik wytrzymałości przekroju pręta odpowiednio, $\overline{\lambda}$ – smukłość względna według normy PN-EN 1993-1-1.

Lokalne wybrzuszenia pożarowe pasów i środników rygli i słupów autorzy proponują uwzględnić przy wykorzystaniu analogii formalnej pomiędzy deformacją termiczną ścianek przekroju a deformacją ścianek wynikającą z teorii stanów nadkrytycznych. Oznacza to, że warunki nośności przekrojów będą formułowane z uwzględnieniem charakterystyk efektywnych: $A_{fi,eff}$, $W_{fi,eff}$. Nośność przekroju R_d we wzorze (6), w stanach prostego ściskania lub zginania, ma wtedy postać:

$$R_d = N_{Rd} = A_{fi,eff} \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} \tag{9}$$

$$R_d = M_{Rd} = W_{fi,eff} \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} \tag{10}$$

gdzie f_y – wytrzymałość nominalna stali według normy [7], γ_{Mo} – współczynnik nośności plastycznej wyspecyfikowany w normie [7].

Alternatywą konstrukcyjną wobec analitycznej weryfikacji niezawodności (6) elementów lokalnie zdeformowanych w pożarze jest ich wzmacnianie.

3.3. Przykładowe strategie programów odbudowy

Uzdatnienie stalowych hal przemysłowych po pożarach wywołujących katastrofę budowlaną, jak to miało miejsce w przypadkach hali 1 i hali 2, wymaga odtworzenia pełnego przedsięwzięcia budowlanego. Oznacza to między innymi konieczność opracowania projektu budowlanego odbudowy,

3.2. The criteria of reliability of steel halls damaged by the fire

The extended exposure of a steel structure to high temperatures in an advanced fire, as was the case with hall 1, leads to major spatial deformations of the bars, putting out of action the entire structure. The case of hall 3, however, shows that other fire scenarios are possible as well, with the bars of bearing frames and their field joints damaged only locally in one plane – in the sense of the assessment of computational imperfections under PN-EN 1993-1-1 [7].

The local imperfections of single bars in standard [7] were defined as the initial curved deflections of straight bars, with the relative value of deflection e_o/L specified for the five classes of imperfection in Table 5.1 of the standard in question. There were no obstacles to inspecting the conditions of load capacity for single frame bars, taking into account the permanent, excessive, curved deflections $e_{fi,o}$ recorded in the inspection procedure. The reliability criterion in durable design situations can then be expressed as:

$$E_d \le \chi R_{d,} \tag{6}$$

where: E_d – the value of the effect of impacts in durable computational scenarios as per PN-EN 1990, R_d – the appropriate computational load capacity, χ – the general stability coefficient (bucklings or warpings) for which the authors suggest the following formula:

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \overline{\lambda}^2}} \tag{7}$$

$$\Phi = 0.5(1+ \frac{Ae_{fi,o}}{W} + \overline{\lambda}^2) \tag{8}$$

Formula (8) indicates: A, W – the area and strength indicator of the cross-section of a wire, respectively; $\overline{\lambda}$ – relative slenderness as per PN-EN 1993-1-1.

The authors suggest that the fire-related bulgings of belts and webs in the girts and columns can be accounted for by means of formal interaction between the thermal deformation of cross-section walls and the deformation of walls, as stipulated by the theory of supercritical fluids. This means that the conditions for the load capacity of cross-sections will be expressed through formulae with effective characteristics factored in: $A_{fi,eff}$, $W_{fi,eff}$. The load capacity of cross section R_d in the formula (6), in states of simple compression or bending:

$$R_d = N_{Rd} = A_{fi,eff} \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} \tag{9}$$

$$R_d = M_{Rd} = W_{fi,eff} \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} \tag{10}$$

where f_y is the nominal strength of steel as per standard [7], γ_{Mo} – the coefficient of plastic load capacity specified in [7].

A structural alternative to the analytical verification of the reliability (6) of components locally deformed in the fire is to reinforce them.

3.3. Sample strategies for the reconstruction programmes

The structural improvement of a steel industrial hall after a fire which caused a structural collapse, as was the case with halls 1 and 2, requires the entire construction project to be restored. This means that a basic design must be prepared and a permit obtained for the reconstruction and further imple-

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4

uzyskania pozwolenia na odbudowę i dalej realizację programu odbudowy na podstawie opracowanej dokumentacji wykonawczej. Pierwsza faza cyklu inwestycyjnego, czyli projekt budowlany, ma szczególne znaczenie z punktu widzenia strategii uzdatniania budynku. Wynika to z faktu, że wszystkie stalowe hale przemysłowe o tradycyjnej konstrukcji oraz większość hal wielkogabarytowych nowej generacji były projektowane według norm krajowych, dlatego często posiadają one znaczne ukryte rezerwy nośności.

Jedna z możliwych strategii odnowy uszkodzonych lub zniszczonych w pożarach stalowych budynków polega na tym, że dokonuje się redefinicji wymagań niezawodności według rekomendacji Eurokodu PN-EN 1990 [8]. W monografii [1] postuluje się wprowadzenie obowiązkowego opracowania przez projektanta w ramach projektu budowlanego dodatkowego dokumentu – karty niezawodności, której przykładowy wzór przytaczamy w tabeli 2. Sposób korzystania z przywołanego szablonu przedstawiono niżej.

Hala 1

Omawiana hala była budynkiem nowym, o podwyższonym ryzyku zagrożenia pożarowego, który zaprojektowano według norm krajowych na obciążenia klimatyczne, o okresie powrotu 50 lat. Pomimo masywnej konstrukcji nośnej (słupy i rygle ram z dwuteowników walcowanych IPN 400), zabezpieczonej powłokami ogniochronnymi zapewniającymi odporność ogniową R30, już po pierwszych kilku miesiącach eksploatacji budynek został zniszczony przez pożar. Projekt odbudowy całej hali oparto na zmodyfikowanych założeniach:

a) tania i lekka konstrukcja stalowa, klasy konsekwencji zniszczenia CC2,
b) skrócony okres amortyzacji (30 lat dla kategorii 3. okresu użytkowania hali),
c) podwyższone standardy w zakresie czynnej ochrony pożarowej,
d) wdrożenie zabezpieczeń systemowych, w tym systemów zapewnienia jakości w zakresie zarządzania i eksploatacji terminalu.

Założenia a) i b) są wzajemnie zależne i wiążą się ze skróconą do 30 lat prognozą obciążeń zmiennych. Obciążenia klimatyczne, przyjęte w projekcie odbudowy według rekomendacji Eurokodu 1, wymagały korekty uwzględniającej skrócony okres eksploatacji. Zastosowane w obliczeniach statycznych współczynniki konwersji obciążeń klimatycznych η_d zaznaczono w tabeli 3 wytłuszczoną czcionką. Przytoczone z monografii [1] współczynniki wyprowadzono dla różnych okresów powrotu n z odpowiednich formuł ekstrapolacyjnych z Eurokodu 1.

Hala 1 w zmodyfikowanej wersji została odbudowana i jest aktualnie eksploatowana zgodnie z opracowaną kartą niezawodności.

mentation of the reconstruction programme on the basis of detailed design documentation. The first stage of the project cycle, the basic design, is of vital importance when it comes to the improvement strategy for the building. This is because all steel industrial halls with regular structures and most of the new-generation large area halls were designed to national standards, so they often possess substantial reserves of load capacity.

One of the possible strategies for the restoration of steel buildings damaged or destroyed in fires involves the redefining of reliability requirements in line with the Eurocode recommendations in PN-EN 1990 [8]. The monograph [1] stipulates that designers be required to draw up an additional document forming part of the basic design – a reliability card, a sample template of which is provided in Table 2. The manner in which the template should be used is presented below.

Hall 1

The analysed hall was a new building subject to an increased fire hazard risk, designed in line with the national standards on climate loads, and characterised by a 50-year load return period. Despite its massive superstructure (IPN 400 columns and frame girts made of rolled steel joists), secured by fireproof layers with R30 fire-resistance characteristics, the building had been in service for only a few months before sustaining serious damage from a fire. The entire hall was reconstructed on the basis of a modified set of principles:

a) low-cost and lightweight steel structure in the CC2 consequence class,
b) depreciation period shortened to 30 years for the hall Cat-3 service period,
c) improved standard of active fire protection,
d) deployment of system-based protections, including quality assurance systems with regard to the management and use of the terminal.

Items a) and b) are interrelated and entail a forecast of variable loads spanning a period reduced to 30-years. The climate loads adopted in the reconstruction design in line with Eurocode 1 recommendations had to be adjusted to account for the shortened period of use. The η_d coefficients for the conversion of climate loads used in the static computations are listed in Table 3 in bold. The coefficients referred to in monograph [1] were derived for various n return periods from appropriate Eurocode 1 extrapolation formulae.

In its modified version, Hall 1 has been reconstructed and is now used in accordance with the prepared reliability card.

Tabela 2. Przykład karty niezawodności budynku o konstrukcji stalowej [1]
Table 2. An example of a reliability card for a building with a steel structure [1]

1. Założenia projektowe/Design assumptions				
Jednostka projektowa/Design office:				
Projektant/Designer:				
Klasa konsekwencji/ Consequences class		CC1	CC2	CC3
Klasa niezawodności/Reliability class		RC1	RC2	RC3
Kategoria projektowego okresu użytkowania/Design working life category				
1	2	3	4	5
Okres użytkowania konstrukcji nośnej [lata]/Design working life for main structure [years]				
do 10	10÷25	15÷30	50	100
Okres użytkowania obudowy [lata]/Design working life for sheeting [years]				
do 10	10÷25	15÷30	50	100

Odporność pożarowa budynku/Fire resistance of building					
Kategoria zagrożenia ludzi Hazard category to humans	ZL I	ZL II	ZL III	ZL IV	ZL V
Klasa odporności pożarowej / Fire resistance class	A	B	C	D	E
Odporność ogniowa szkieletu The fire-resistance rating of the building frame	R 240	R 120	R 60	R 30	0

Kategoria użytkowania dachu / The category of roof use				
A	B	C	D	E
Klasa konstrukcyjna obudowy / The structural class of the sheathing		1	2	3
Stal na konstrukcję The steel for the structure		S235	S275	S355
Stal na obudowę / The steel for the sheathing		S250GD	S280GD	S320GD

2. Wypis z dokumentacji wykonawczej An extract from the as-built documentation				
Jednostka projektowa/Design unit				
Projektant/Designer				
Wykonawca konstrukcji Structure contractor				
Wykonawca obudowy Sheathing contractor				
Klasa wykonania / Execution class	EXC1	EXC2	EXC3	EXC4
Kategoria produkcji / Production category	Kat. użytkowania / Service category			
PC1 / PC2	SC1		SC2	
3. Wymagania eksploatacyjne / Performance requirements				
Obciążenie pomostów / Platform loads	Obciążenie pomostów / Load due to snow			
q_k [kN/m^2]	s_k [kN/m^2]			
Uwaga: Odśnieżanie dachu wg opracowanej instrukcji odśnieżania / Snow removal according to the prepared instructions				

Tabela 3. Wartości współczynników konwersji dla oddziaływań klimatycznych [1]
Table 3. Values of conversion coefficients for climate loads [1]

Okres powrotu [lata] Return period [years]	**Współczynnik konwersji/Conversion factor η_d**			
	Obciążenie/Load			
	śnieg/snow s_k	**wiatr/wind v_b**	**temperatura/temperature**	
			T_{max}	T_{min}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
10	0.70	0.90	0.91	0.74
15	0.77	0.93	0.93	0.81
25	0.87	0.96	0.96	0.89
30	**0.90**	**0.97**	**0.97**	**0.92**
50	1.00	1.00	1.00	1.00
100	1.13	1.04	1.04	1.11

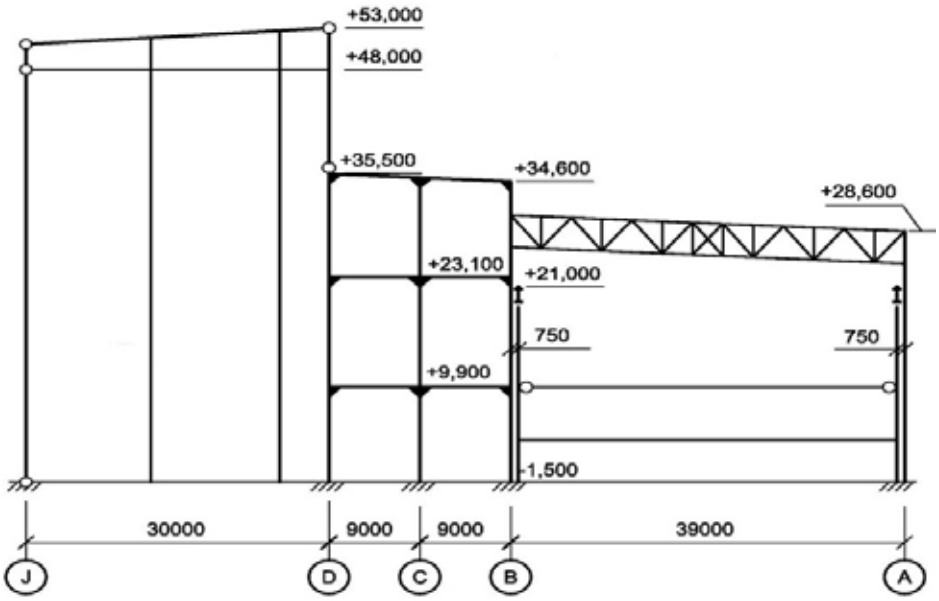
Hala 2

Budynek główny elektrociepłowni był eksploatowany bezawaryjnie przez okres około 30 lat, zatem nie było podstaw do negatywnej oceny jego niezawodności w trwałych i przejściowych sytuacjach projektowych wg [8]. Program naprawczy oparto na odtworzeniu zniszczonej konstrukcji według zachowanej autorskiej dokumentacji projektowej. Ze względu na pilną potrzebę odbudowy nawy maszynowni oraz brak modelu komputerowego 3D budynku, obliczenia kontrolne ograniczono do analizy statycznej 2D w sytuacji wyjątkowej pożaru powtarzalnej ramy płaskiej, pokazanej na ryc. 10. Rozbudowany schemat statyczny tej ramy uzasadnia przyjęte uproszczenia obliczeniowe. Budowa modelu komputerowego 3D wymagałaby czasu, którego użytkownik nie miał, ponie-

Hall 2

The main building of the CHP station had been used without any failures for around 30 years, so there were no grounds for questioning its reliability in the permanent and transitional design scenarios as per [8]. The repair programme was based on the restoration of the destroyed structure in accordance with in-house design documentation. Given the urgent need to restore the aisle of the turbine section and with no 3D computer model available for the building, control computations were limited to a 2D static analysis of an emergency fire event, with a repetitive plane frame shown in Fig. 10. A simplified approach to the calculations is justified by the extended static diagram of this frame. The user could not devote the time necessary to prepare a 3D computer mo-

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4



Ryc. 10. Schemat statyczny powtarzalnej ramy płaskiej hali 2 [1]
Fig. 10. Static diagram of the repetitive frame in hall 2 [1]

waż zagrożone były dostawy ciepła i prądu dla dużej aglomeracji miejskiej w środku sezonu zimowego. Inwentaryzacja powypadkowa nie wykazała trwałych deformacji przestrzennych prętów w ram osiach 7 i 10 wg ryc. 6, przyległych do strefy zniszczeń pożarowych. Oznaczało to, że w tych osiach i dalszych, temperatura ogrzania konstrukcji stalowej w czasie pożaru nie przekroczyła temperatury pełzania stali. Odpowiedź mechaniczna ram w osiach 7 i 10, ogrzanych częściowo lub w całości do temperatury 300°C, z uwzględnieniem ciężaru własnego, nie prowadzi do przekroczenia kryterium niezawodności (1) w przekrojach i prętach konstrukcji.

Hala 3

Omawiana hala w czasie pożaru była budynkiem nowym (eksploatowanym kilka lat), o podwyższonym ryzyku zagrożenia pożarowego.

Budynek projektowano według norm krajowych na obciążenia klimatyczne o okresie powrotu 50 lat. Pomimo długotrwałej ekspozycji pożarowej, negatywne skutki działań termicznych wykazane w tabeli 1 są niewielkie, w porównaniu z uszkodzeniami wykazanymi dla hali 1.

Program odbudowy hali 3 oparto na rozpoznaniu numerycznym skutków równomiernego lub nierównomiernego ogrzania elementów konstrukcji stalowej do umownej temperatury krytycznej stali θ = 300°C, (por. model komputerowy pokazany na ryc. 11). Wyciąg z przeprowadzonych obliczeń statycznych zamieszczono w tabeli 4, w której zestawiono wartości ekstremalnych naprężeń normalnych $\sigma_{\theta,x}$ w przekrojach wybranych prętów według schematów z tabeli 5. Analizowano 6 przypadków symulacji komputerowych oddziaływań temperatury w czasie pożaru na konstrukcję nośną hali (por. kolumny (2–7) w tabeli 4). Hala została wykonana ze stali S 355, dla której wartość średnia granicy plastyczności według własnych badań statystycznych opisanych w monografii [1] wynosi: R_{pl} = 398÷410 MPa.

Przy uwzględnieniu współczynnika konwersji granicy plastyczności w przyjętej temperaturze pożaru, o wartości podanej w normie [5]: k_{θ} = 1.0 oraz współczynnika nośności plastycznej $\gamma_{M,fi}$ = 1.0, kryterium niezawodności (1) w stanie granicznym nośności plastycznej (LS1) przybiera postać:

del, as this could have compromised the continuous supply of heat and power to a large agglomeration in the middle of the winter season. The post-accident inspection procedure did not reveal any permanent spatial deformations to bars in axles 7 and 10, as shown in Fig. 6, adjacent to the fire damage zone. This means that in those axles, and axles located further, the temperature to which the steel structure heated up during the fire did not exceed the temperature of steel creep. The mechanical response of the frames in axles 7 and 10, partially or fully heated to 300°C, dead weight included, did not cause the reliability criterion to be exceeded (1) in the cross-sections and bars.

Hall 3

At the time of the fire, the analysed hall still was a new building, used for several years, and facing an increased fire hazard.

The building was designed to national standards with regard to climate loads and a 50-year return period. Despite prolonged exposure to fire, the adverse effects of the thermal activity shown in Table 1 are minor compared to the damage found in hall 1.

The reconstruction programme for hall 3 was based on the quantitative identification of the effects of the even or uneven heating of the components of the steel structure up to the assumed critical temperature of steel θ = 300°C (cf. the computer model in Fig. 11). An extract from the static calculations is provided in Table 4, which presents the values of extreme normal stresses $\sigma_{\theta,x}$ in the cross-sections of selected bars, in accordance with the diagrams from Table 5. The analysis covered six computer simulations of the impacts of temperature during the fire on the hall's bearing structure (cf. columns (2)÷(7) in Table 4). The hall was made from the S 355 steel, for which the average plasticity limit, according to the authors' statistical surveys described in monograph [1], is: R_{pl} = 398÷410 MPa.

With the coefficient of plasticity conversion limit taken into account in the adopted temperature of the fire, having the value specified in standard [5]: k_{θ} = 1.0 and the coefficient of plastic load capacity $\gamma_{M,fi}$ = 1.0, the reliability criterion (1) in the limit state of plastic load capacity (LS1) takes the following formula:

Tabela 4. Ekstremalne naprężenia normalne $\sigma_{\theta,x}$ kN/m² w przekrojach wybranych prętów hali 3
Table 4. Extreme normal stresses $\sigma_{\theta,x}$ kN/m² in the cross-sections of selected bars in hall 3

Element hali **Hall component**	**Przypadek symulacji / Case of simulation G+W+(θ = 300 °C)**					
	ogrzanie całej hali / the heating up of the entire hall	ogrzanie skrajnych ram / the heating up of extreme frames	ogrzanie dachu the heating up of the roof	ogrzanie słupów do połowy / the heating up of the columns up to mid-height	ogrzanie wewnętrznych ram / the heating up of the internal frames	ogrzanie stężeń i rygli / the heating up of the bracings and girts
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1. Rygiel ramy 1 / Frame girt 1	125	117	277	28	51	259
2. Słupy ramy 1 / Frame columns 1	**527**	**445**	**707**	27	131	**736**
3. Rygiel ramy 2 / Frame girt 2	175	127	148	47	88	39
4. Słupy ramy 2 / Frame columns 2	331	251	71	122	209	122
5. Rygle ściany 1 / Wall girts 1	107	107	31	36	35	145
6. Słupy ściany 1 / Wall columns 1	51	50	264	20	25	204
7. Rygle ściany E / Wall girts E	104	**417**	**529**	34	123	233
8. Stężenia ściany E / Wall bracings E	48	40	302	8	111	229
9. Płatwie / Purlins	236	**415**	383	55	**444**	95
10. Rygle ściany B / Walls girts B	129	**447**	**673**	39	45	340

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

$$\sigma_{\theta,x} \le \frac{k_\theta R_{pl}}{\gamma_{M,fi}} = 398 \div 410 \text{ MPa} \quad (11)$$

Dla wartości $\sigma_{\theta,x}$ zestawionych w tabeli 4 kryterium (11) nie jest spełnione dla słupów ramy skrajnej dla czterech różnych przypadków pożaru. Oznacza to, że analizowane słupy były i są nadal najbardziej zagrożonymi w pożarze elementami hali. W drugiej kolejności zagrożone deformacjami plastycznymi są rygle ścian podłużnych, dla których kryterium (11) także nie jest spełnione. Rezultaty symulacji komputerowych tłumaczą udokumentowane po pożarze deformacje plastyczne słupa 1E i rygli ścian bocznych B i E według tabeli 1. W przypadku płatwi dachowych, pomimo relatywnie wysokiego poziomu naprężeń, nie doszło jednak do deformacji plastycznych. Pod wpływem temperatury pożaru, po zdeformowaniu się blachy trapezowej poszycia dachu i ścięciu połączeń głównych arkuszy balach, doszło do zmiany schematu statycznego płatwi dachowych i ich swobodnych odkształceń termicznych.

Projekt odbudowy hali oparto na zmodyfikowanych założeniach jak dla hali 1, w punktach a)÷d). Rezultaty przeprowadzonych obliczeń statycznych dla trwałych sytuacji projektowych pokazano dla wybranych elementów hali na ryc. 11. Warunek nośności przekroju rygla ramy 2 (1000 x 280 x 15 x 10), z pofalowanym jednostronnie pasem dolnym (por. tabela 1) ma postać:

$$\frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}}\gamma_{M0} + \frac{M_{Ed} + \Delta M}{f_y W_{eff}}\gamma_{M0} = \frac{225 \cdot 1{,}0 \cdot 10}{355 \cdot 160} + \frac{560 + 225 \cdot 0{,}065}{355 \cdot 3935} \cdot 1{,}0 \cdot 10^3 = 0.451 < 1.00 \quad (12)$$

Warunek niezawodności (12) w przekroju rygla ramy 6 z wybrzuszonym środnikiem dla A_{eff} = 114 cm² i W_{eff} = 4075 cm³ jest także spełniony. Przekrój efektywny rygla

$$\sigma_{\theta,x} \le \frac{k_\theta R_{pl}}{\gamma_{M,fi}} = 398 \div 410 \text{ MPa} \quad (11)$$

For values $\sigma_{\theta,x}$ presented in Table 4, criterion (11) was not met for the columns of the extreme columns in four different cases of fire. This means that the analysed columns were and still are the most vulnerable components of a hall struck by a fire. Rated second in terms of vulnerability to plastic deformations are the girts of longitudinal walls, for which criterion (11) was also not met. The results of computer simulations might be of assistance in explaining the plastic deformations of column 1E and of the bracings of side walls B and E, as shown in Table 1. No plastic deformations, however, occurred in roof purlins, despite the relatively high stresses. After the fire-induced deformation of the roofing troughed sheet and the cutting off of connections between the main sheets on the beams, a change occurred to the static diagram of the roof purlins and their free thermal deformations.

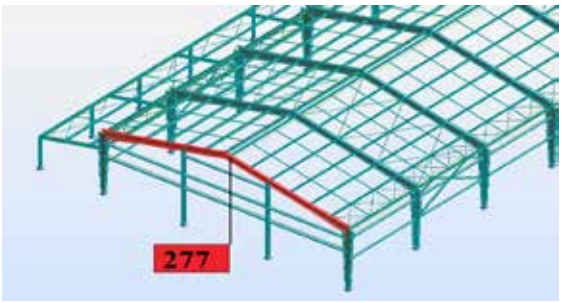
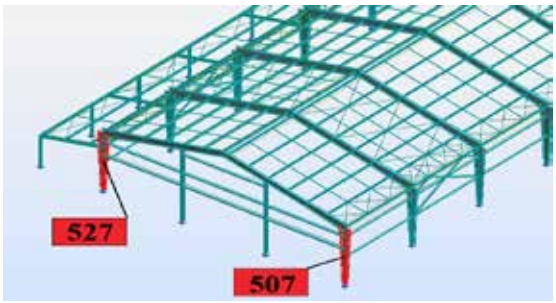
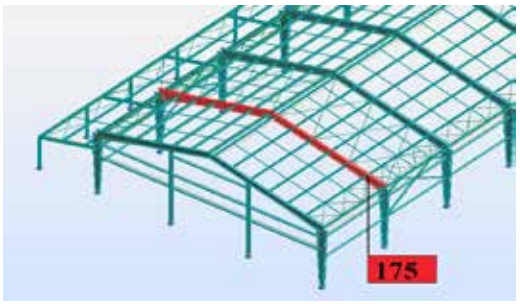
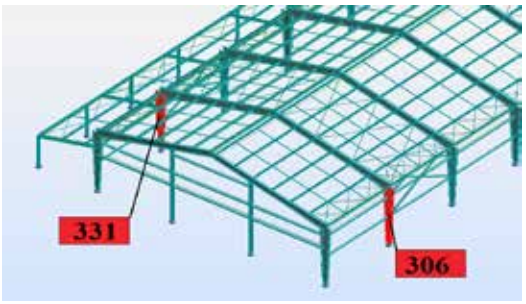
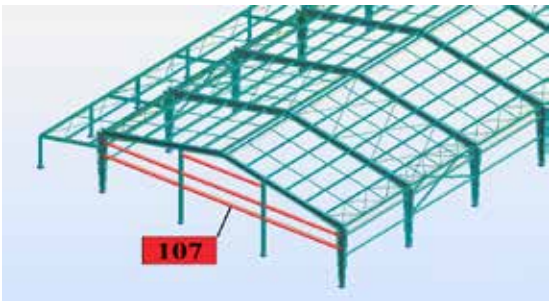
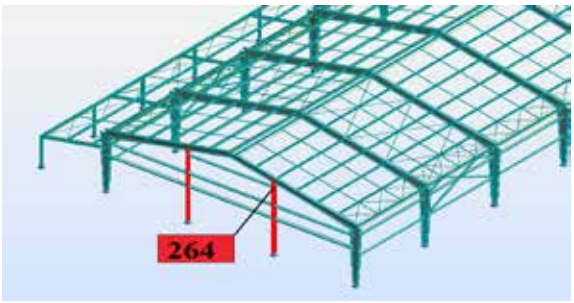
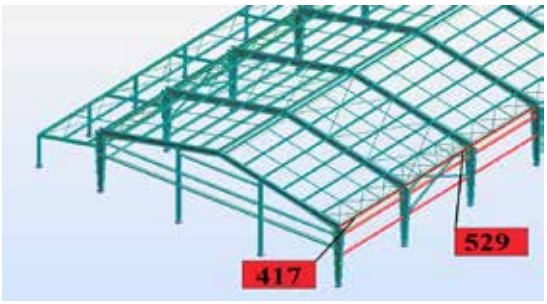
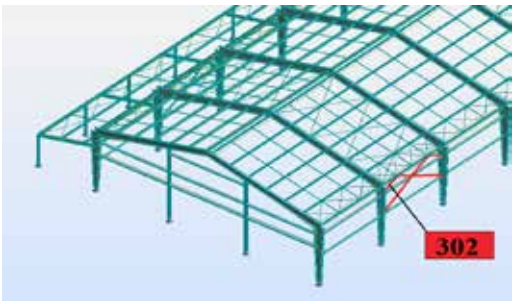
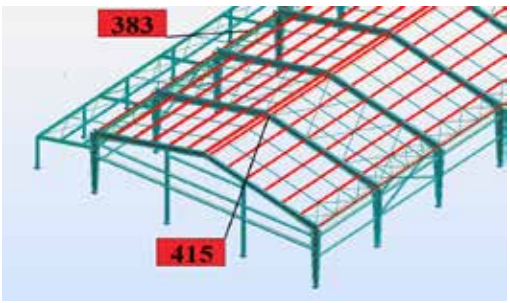
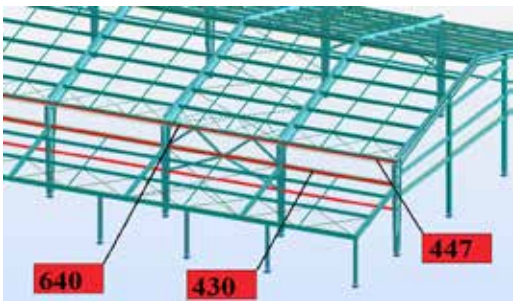
The hall reconstruction design was based on modified principles, as for hall 1, in points a)÷d). The results of static calculations for durable design scenarios were presented for the selected components of the hall in Fig. 11. The load-capacity condition of frame girt 2 (1000 x 280 x 15 x 10), with the lower belt corrugated on one side (cf. Table 1) can be represented by the formula:

$$\frac{N_{Ed}}{f_y A_{eff}}\gamma_{M0} + \frac{M_{Ed} + \Delta M}{f_y W_{eff}}\gamma_{M0} = \frac{225 \cdot 1{,}0 \cdot 10}{355 \cdot 160} + \frac{560 + 225 \cdot 0{,}065}{355 \cdot 3935} \cdot 1{,}0 \cdot 10^3 = 0.451 < 1.00 \quad (12)$$

The reliability condition (12) in the cross-section of frame girt 6 with a bulging web for A_{eff} = 114 cm² and W_{eff} = 4075 cm³ is met as well. The effective cross-section of the bracing of frame 2

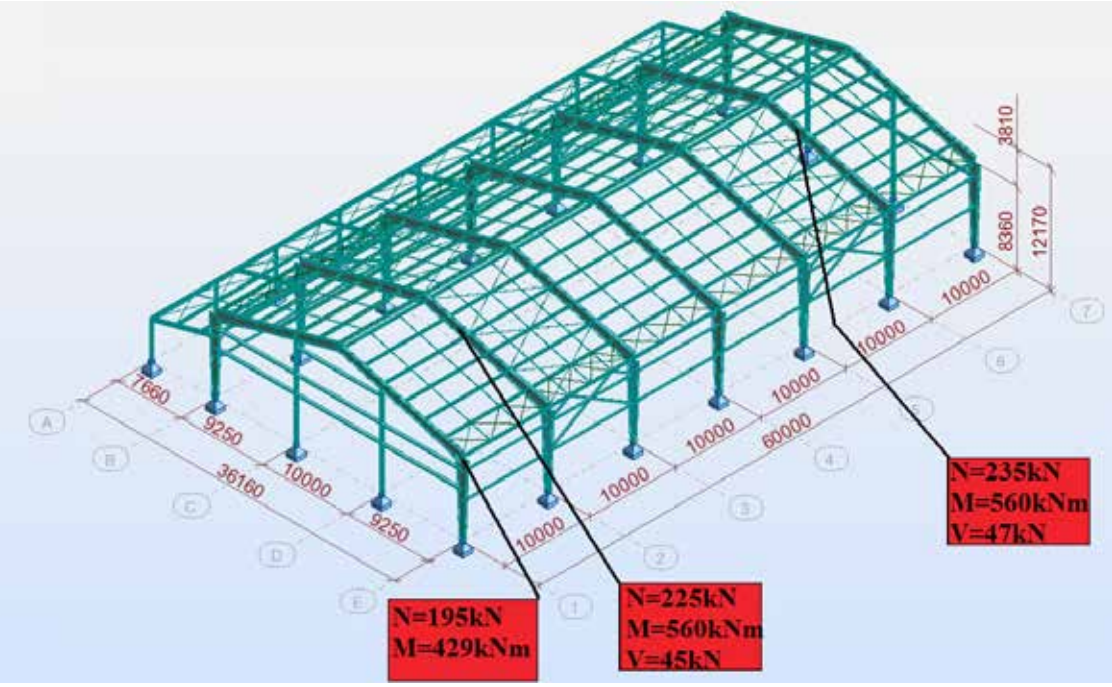
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4

Tabela 5. Wykaz elementów hali 3 uwzględnionych w Tabeli 4, $\sigma_{\theta,x}$ [kN/m²]
Table 5. The list of components of hall 3 included in Table 4, $\sigma_{\theta,x}$ [kN/m²]

1. Rygiel ramy 1 / Frame girt 1	2. Słupy ramy 1 / Frame columns 1
	
3. Rygiel ramy 2 / Frame girt 2	4. Słupy ramy 2 / Frame columns 2
	
5. Rygle ściany 1 / Wall girts 1	6. Słupy ściany 1 / Wall columns 1
	
7. Rygle ściany E / Wall girts E	8. Stężenia ściany E / Wall bracings E
	
9. Płatwie / Purlins	10. Rygle ściany B / Walls girts B
	

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 51–66
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4



Ryc. 11. Wyciąg z obliczeń statycznych w trwałej sytuacji projektowej G+S+W
Fig. 11. An extract from static calculations for a persistent G+S+W design scenario

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

ramy 2 uwzględnia redukcję szerokości pasa dolnego do wymiaru b/2 = 140 mm, a przekrój rygla ramy 6 – symetryczne osłabienie środnika na wysokości $0{,}7h_w$ = ~ 670 mm.

4. Podsumowanie

Obecnie w normach europejskich projektowania konstrukcji budowlanych zwraca się większą niż kiedyś uwagę na bezpieczeństwo pożarowe budynków. W wybranych częściach Eurokodów zamieszczono nowoczesne, lecz dość skomplikowane procedury obliczeniowe, które umożliwiają przeprowadzenie mniej lub bardziej zaawansowanej analizy oddziaływań termicznych na konstrukcję i jej odpowiedzi mechanicznej w sytuacji pożaru.

Jest to podejście nowe w porównaniu z dotychczasową praktyką projektowania konstrukcji stalowych, uwzględniającą tylko kwestie czynnej ochrony przeciwpożarowej i to tylko dla niektórych obiektów zagrożonych pożarem. W środowisku projektantów konstrukcji stalowych jest dość często wyrażany sceptyczny stosunek do praktycznej przydatności skomplikowanych procedur zamieszczonych w Eurokodach [4-6]. W artykule podjęto próbę polemiki z takimi poglądami, wskazując na koncepcyjny charakter projektowania bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji metalowych. Projektowanie koncepcyjne to wielorakie strategie projektowania, zależne od indywidualnej sytuacji pożarowej. Takie podejście jest rekomendowane w Eurokodach zarówno dla obiektów nowoprojektowanych, jak i dla licznych przypadków uzdatniania istniejących budynków po przebytym pożarze. W artykule skoncentrowano się na tej drugiej grupie budynków, reprezentowanej przez trzy stalowe hale o zróżnicowanej konstrukcji. Dla hali 1, w której po długi pożar rozwinięty wywołał zniszczenia na dużą skalę, procedury obliczeniowe nie są przydatne, natomiast możliwa jest optymalna strategia projektowania bezpieczeństwa pożarowego. W hali 2 pożar miał charakter lokalny, a skala zniszczeń pożarowych była ograniczona. Dla tego przypadku procedury obliczeniowe zamieszczone w Eurokodzie [5] są przydatne do

includes the decrease in the width of the lower belt to b/2 = 140 mm, and the cross-section of the bracing of frame 6 – a symmetrical weakening of the web at the height of $0.7h_w$ = ~ 670 mm.

4. Summary

The current European standards for designing building structures now place greater emphasis on their fire safety. Several parts of the Eurocodes feature modern, though rather complex, calculation procedures which facilitate a more or less advanced analysis of thermal impacts on the structure and its mechanical response in a fire event.

As regards steel structures, this is a new approach, as compared to the previous practice of designing only active fire-protection measures, and only for selected structures facing fire hazards. Designers of steel structures often express their scepticism of whether the complex procedures provided for in Eurocodes [4], [5] and [6] have any practical use. The article sets out to challenge such views by indicating the conceptual nature of designing fire protection for steel structures. Conceptual design involves multifaceted design strategies, depending on a specific fire scenario. Such an approach is recommended in the Eurocodes for both newly designed structures and for the quite numerous cases of the structural improvement of buildings following a fire. The article focuses on the latter group of buildings represented by three structurally varied steel halls. For hall 1, where several hours of fire resulted in major damage, calculation procedures are of no assistance, but it is possible to apply an optimum strategy to design fire-protection measures. The fire in hall 2 was of a local nature and the resulting damage was minor. In this scenario, the calculation procedures included in Eurocode [5] proved useful for quickly assessing the effects of the fire in those areas of the building which were adjacent to the damage zone.

For hall 3, the reliability requirements were verified and use was made of the possibilities offered by the analytical

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.4

szybkiej oceny skutków pożaru w strefach budynku przyległych do obszaru zniszczeń.

Dla hali 3 przeprowadzono weryfikację wymagań niezawodności oraz wykorzystano możliwości analitycznej oceny wpływu długotrwałej ekspozycji pożarowej na uszkodzenia termiczne całej konstrukcji stalowej hali 3.

Badania przedstawione w artykule zostały przeprowadzone w ramach działalności statutowej Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej.

assessment of how extended exposure to fire contributes to thermal damage in the entire steel structure of hall 3.

The research presented in the article was carried out within the statutory activity of the Faculty of Civil Engineering at the Cracow University of Technology.

Literatura / Literature

[1] Gwóźdź M., Machowski A., Żwirek P., *Wybrane zagadnienia niezawodności szkieletów stalowych budynków*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2013.
[2] PN-EN 1090-2. Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 2: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji stalowych.
[3] PN-EN 1090-3. Wykonanie konstrukcji stalowych i aluminiowych. Część 3: Wymagania techniczne dotyczące konstrukcji aluminiowych.
[4] PN-EN 1991-1-2. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
[5] PN-EN 1993-1-2. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
[6] PN-EN 1999-1-2. Eurokod 9. Projektowanie konstrukcji aluminiowych. Część 1-2: Obliczenia konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.
[7] PN-EN 1993-1-1. Eurokod 3. Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.
[8] PN-EN 1990. Eurokod. Podstawy projektowania konstrukcji.

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.

* * *

prof. dr hab. inż. Marian Gwóźdź – absolwent Wydziału Budownictwa Lądowego Politechniki Krakowskiej. Od 1973 r. pracownik naukowo-dydaktyczny Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej, obecnie kierownik Katedry Konstrukcji Metalowych. Zajmuje się zagadnieniami nośności i niezawodności konstrukcji stalowych i aluminiowych. Od 2010 r. przewodniczący Komitetu Technicznego nr 128 ds. projektowania i wykonawstwa konstrukcji metalowych i zespolonych, Polskiego Komitetu Normalizacyjnego.
prof. Marian Gwóźdź, Ph.D. – a graduate from the Faculty of Civil Engineering, the Cracow University of Technology. Since 1973, a member of the research and teaching staff at the Faculty of Civil Engineering, the Cracow University of Technology; currently, Head of the Department of Metal Structures. His academic interests focus on the load capacity and reliability of steel and aluminium structures. In 2010, he became chair of Technical Committee No. 128 on the designing and manufacturing of steel and composite structures, the Polish Committee for Standardisation.

mgr inż. Piotr Woźniczka – absolwent Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Od 2015 r. zatrudniony na stanowisku wykładowcy w Katedrze Konstrukcji Metalowych Politechniki Krakowskiej.
Piotr Woźniczka, M.Sc.Eng. – a graduate from the Faculty of Civil Engineering, the Cracow University of Technology. Since 2015 a lecturer at the Department of Metal Structures, the Cracow University of Technology.

mgr inż. Anna Tkaczyk – absolwentka Wydziału Budownictwa i Inżynierii Środowiska Politechniki Świętokrzyskiej. W latach 2000-2009 zatrudniona na stanowisku projektanta w Biurze Budowlanym ANKRA Sp. z o.o., od 2009 – projektant w Biurze Budowlanym BAUKO S.C.
Anna Tkaczyk, M.Sc.Eng. – a graduate from the Faculty of Civil and Environmental Engineering, the Kielce University of Technology. In 2000-2009 employed as a designer at Biuro Budowlane ANKRA Sp. z o.o.; since 2009, a designer at Biuro Budowlane BAUKO S.C.

DOI: 10.12845/bitp.44..2016.5

mł. bryg. dr inż. **Rafał Porowski**[1]
inż. **Norbert Janik**[1]
inż. **Tomasz Wdowiak**[1]
st. bryg. dr inż. **Waldemar Wnęk**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 10.05.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 31.05.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Wpływ rodzaju drewna na czas działania liniowych czujek dymu[2]

The Influence of Wood Type on the Response Time of Optical Beam Smoke Detectors

Влияние типа древесины на время срабатывания линейных дымовых пожарных извещателей

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przeprowadzenie badań doświadczalnych dla dwóch wybranych liniowych czujek dymu, czujki OSID oraz DOP 6001 w zakresie czasów zadziałania w zależności od rodzaju spalanego drewna oraz spalania bezpłomieniowego i płomieniowego.
Wprowadzenie: Na przestrzeni lat opracowano wiele typów czujek pożarowych różniących się zasadą działania. Najprostsze z nich to nieskomplikowane czujniki temperatury, najpierw mechaniczne, później, wraz z rozwojem techniki elektroniczne. Zdawano sobie sprawę, że nie wykrywają one zagrożenia dostatecznie szybko, dlatego też poszukiwano rozwiązań, które reagowałyby na pierwsze oznaki rozwijającego się pożaru. Punktowe czujki dymu są łatwe w montażu i obsłudze, gdyż są kompletnym, samowystarczalnym urządzeniem. Ich skuteczność maleje wraz z oddalaniem się źródła dymu od miejsca montażu czujki. W niektórych budynkach, jak np. duże hale magazynowe czy fabryki, dla zachowania odpowiedniego stopnia ochrony należałoby instalować setki czujek punktowych, aby ich zasięg skutecznego działania pokrył całą powierzchnię pomieszczenia. W takiej sytuacji lepszym rozwiązaniem są optyczne liniowe czujki dymu, które w zależności od gęstości ich instalacji, mogą pod względem powierzchni dozorowej zastąpić nawet 20 czujek punktowych.
Metodologia: Artykuł został opracowany na podstawie przeprowadzonych badań doświadczalnych w komorze badawczej, przy wykorzystaniu różnych źródeł spalania bezpłomieniowego i płomieniowego.
Wnioski: W próbach ze spalaniem bezpłomieniowym dym zaczynał się wydzielać niezwłocznie po umieszczeniu drewna na płycie grzewczej, proces tlenia się drewna był jednostajny. Przebieg parametrów pracy czujek w czasie jest w dużym przybliżeniu liniowy, co oznacza jednostajne tempo zmniejszania się przezroczystości powietrza w komorze badawczej. Spalanie płomieniowe rozpoczyna się od małego płomienia podpalonego alkoholu, który musi zainicjować spalanie drewna. Szybkość spalania, a co za tym idzie ilość wydzielanego dymu, cały czas rośnie, co powoduje zbliżony do wykładniczego przebieg parametrów pracy czujek w czasie. Tłumienie wiązek światła wysyłanych przez nadajnik czujki OSID, przebiega różnie, w zależności od typu spalania. Dym pochodzący ze spalania bezpłomieniowego początkowo tłumi obie wiązki jednakowo, dopiero po czasie pojawia się różnica pomiędzy tłumieniem UV a IR. Podczas spalania płomieniowego różnica jest widoczna natychmiast i wyraźnie powiększa się wraz z rozwojem pożaru testowego.

Słowa kluczowe: czujki liniowe dymu, spalanie drewna, detekcja pożaru
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to carry out an experimental test of the influence of wooden materials on the activation time of two types of optical beam smoke detectors – the OSID and the DOP 6001 – during flaming and non-flaming combustion.
Introduction: Over the years, there have been many types of fire detector that differ in the way they operate. A few years ago, it was discovered that many detector types depended on the operation principle. The simplest detectors were temperature detectors, at first mechanical, and then, with the development of technology, also electronic. It was obvious that they did not detect the threat fast enough, so it was essential to find solutions that would respond to the first signs of a developing fire. Spot-type smoke detectors are easy to install and use because they are a complete, self-contained devices. Their effectiveness decreases as the distance between the source of combustion and the location of smoke detectors grows. In some buildings, e.g. large warehouses or industrial plants, for a better fire-safety level, there is a need to install dozens of spot-type smoke detectors to protect large areas. In such cases optical beam smoke detectors could be the best practical solution.

[1] Szkoła Główna Służby Pożarniczej / The Main School of Fire Service, Poland; rporowski@sgsp.edu.pl;
[2] Procentowy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / Percentage contribution: R. Porowski – 40%, N. Janik – 20%, T. Wdowiak – 20%, W. Wnęk – 20%;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.5

Methodology: The article is based on a series of experimental tests in a test chamber with various sources of flaming and non-flaming combustion. Two different types of optical beam smoke detectors were used to test the influence of wooden beams on activation times.
Conclusions: During the experiments with non-flaming combustion, intense smoke production started immediately after the initiation of the combustion process. The non-flaming phenomenon was a very stable process for all kinds of tested wood. The activation-time results of optical beam smoke detectors and the evolution of the operational parameters, which was almost linear, indicate that these types of detectors are more effective for non-flaming combustion, as opposed to flaming combustion. Flaming combustion starts with a small flame of burning alcohol, which can initiate the combustion of wood. The burning rate and the intensity of smoke production increased, causing a linear evolution of operation parameters from tested smoke detectors over time. The suppression of light beams emitted by the transmitter of the OSID detectors shows different evolution depending on the type of combustion. Smoke production from non-flaming combustion initially suppresses both light beams. After some delay, the effect of the differences between UV and IR suppression is observed. During flaming combustion, the difference is immediately apparent and clearly increases with the development of the test fire.

Key words: optical beam smoke detectors, wood combustion, fire detection
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью данной статьи является проведение экспериментальных исследований двух выбранных линейных дымовых извещателей OSID и DOP 6001 в области времени срабатывания в зависимости от типа сжигаемой древесины, а также беспламенного и пламенного горения.
Введение: На протяжении многих лет были разработаны разные виды пожарных извещателей, характеризующихся различными принципами работы. Самый простой из них представляет собой простые датчики температуры, сначала механические, потом, с развитием техники, электронные. Было однако известно, что они не обнаруживают угрозы достаточно быстро, поэтому проводился поиск технических решений, которые реагировали бы на первые признаки развивающегося пожара. Точечные дымовые ивещатели просты в установке и сервисе, потому что они являются полным, самодостаточным устройством. Их эффективность уменьшается с увеличением расстояния источника дыма от места установки извещателя. В некоторых зданиях, например, на крупных складах или фабриках, для обеспечения надлежащего уровня защиты должно быть установлено сотни точечных извещателей, чтобы они охватывали целое помещение. В такой ситуации лучшим решением являются линейные оптические пожарные извещатели, которые, в зависимости от их количества, могут, с точки зрения защищаемой зоны, заменить даже 20 точечных извещателей.
Методология: Статья была разработана на основе проведенных экспериментальных исследований в испытательной камере с использованием различных источников беспламенного и пламенного горения.
Выводы: В тестах с беспламенным горением дым появлялся сразу после размещения древесины на горячей плите, процесс тления древесины был равномерен. Ход рабочих параметров извещателей во времени являлся, по существу, линейным, что означает равномерную скорость уменьшения прозрачности воздуха в испытательной камере.
Пламенное горение начинается с небольшого пламени подожженного алкоголя, который должен начать горение древесины. Скорость горения и, таким образом, количество выделяемого дыма все время увеличивается, что приводит к аналогичным экспоненциальным параметрам работы извещателей во времени. Ограничение световых лучей, выпускаемых датчиком извещателя OSID, происходит по-разному в зависимости от типа сгорания. Дым, созданный в результате беспламенного горения, подавляет первоначально оба луча одинаково. Только после некоторого времени наблюдается различие между затуханием УФ и ИК. Во время пламенного горения различие сразу видно, которое четко растет вместе с развитием тестового пожара.

Ключевые слова: линейные дымовые извещатели, горение древесины, обнаружение пожара
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Na przestrzeni lat opracowano wiele typów czujek pożarowych różniących się między sobą zasadą działania. Najprostsze z nich to nieskomplikowane czujniki temperatury, najpierw mechaniczne, później – wraz z rozwojem techniki – elektroniczne. Zdawano sobie sprawę, że urządzenia te nie wykrywają zagrożenia dostatecznie szybko, dlatego poszukiwano rozwiązań, które reagowałyby już na pierwsze oznaki rozwijającego się pożaru. Czujka jonizacyjna spełniała ten warunek, lecz była dość droga w produkcji. Gdy opracowano półprzewodnikowe czujniki światła, zastosowano je do skonstruowania optycznych czujek dymu, wykorzystujących zjawisko rozproszenia lub tłumienia strumienia światła. Punktowe czujki dymu są łatwe w montażu i obsłudze, gdyż stanowią one kompletne, samowystarczalne urządzenia. Ich skuteczność maleje jednak wraz z oddalaniem się źródła dymu od miejsca montażu czujki. W niektórych budynkach, takich jak duże hale magazynowe czy fabryki, dla zachowania odpowiedniego stopnia ochrony należałoby instalować setki czujek punktowych, aby ich zasięg skutecznego działania pokrył całą powierzchnię pomieszczenia. W takiej sytuacji lepszym rozwiązaniem są optyczne liniowe czujki dymu, które w zależności od gęstości ich instalacji, mogą pod względem powierzchni dozorowej zastąpić nawet 20 czujek punktowych [1].

1. Introduction

Over the years, many types of fire detector have been developed, characterised by a variety of operating features. The simplest of these devices are temperature detectors – at first mechanical, and later, as the technology progressed, electronic. Aware that such devices were lacking in detection speed, designers sought solutions which would guarantee a response to the earliest signs of a developing fire. The ionisation detector satisfied this condition, but was rather expensive to manufacture. Once semiconductor light sensors were designed, they served as components in optical smoke detectors, which utilise the phenomenon of the dispersion or suppression of light beams. As complete, self-contained devices, spot-type smoke detectors are easy to install and use. Their effectiveness, however, decreases as the distance between the detector and the source of smoke grows. In certain buildings, such as large warehouses or factories, hundreds of spot-type detectors would have to be installed to maintain the same level of protection and cover the entire area of the space. In such a case, optical beam smoke detectors offer a better solution, as, depending on their concentration in a room, they can be as effective (in terms of the covered surveillance area) as 20 spot-type detectors [1].

An optical beam smoke detector consists of a transmitter which emits a light beam (usually infrared) and measures the intensity of beams sent by the transmitter.

Optyczna liniowa czujka dymu składa się z nadajnika, który emituje wiązkę światła (najczęściej podczerwonego) oraz mierzącego natężenie danej wiązki odbiornika.

Na rynku krajowym i międzynarodowym dostępne są dwa typy liniowych czujek dymu. Odbiornik może być odseparowany od nadajnika i montowany na przeciwległej ścianie, wtedy kompletna czujka składa się z dwóch urządzeń. Częstszym rozwiązaniem jest umieszczenie nadajnika i odbiornika we wspólnej obudowie, wówczas na ścianie instaluje się reflektor pryzmowy lub lustro, mające za zadanie odbić wiązkę i skierować ją do odbiornika. Czujki liniowe działają na zasadzie pomiaru stopnia pochłaniania wiązki światła przez produkty spalania, które znajdą się na drodze pomiędzy nadajnikiem a odbiornikiem. Ich czułość określa się jako procent, o jaki zmniejszyło się natężenie wiązki światła wyemitowanej przez nadajnik po przejściu przez warstwę dymu i odebraniu jej przez odbiornik. Czujka liniowa oblicza tłumienie dla całej drogi wiązki światła, czyli uśrednia wielkość zadymienia. Ta właściwość sprawia, że czujki takie nadają się do zabezpieczania pomieszczeń, w których w normalnych warunkach pracy może miejscowo pojawiać się dym niebędący skutkiem pożaru. Tego rodzaju dym nie wywoła fałszywego alarmu [3-4].

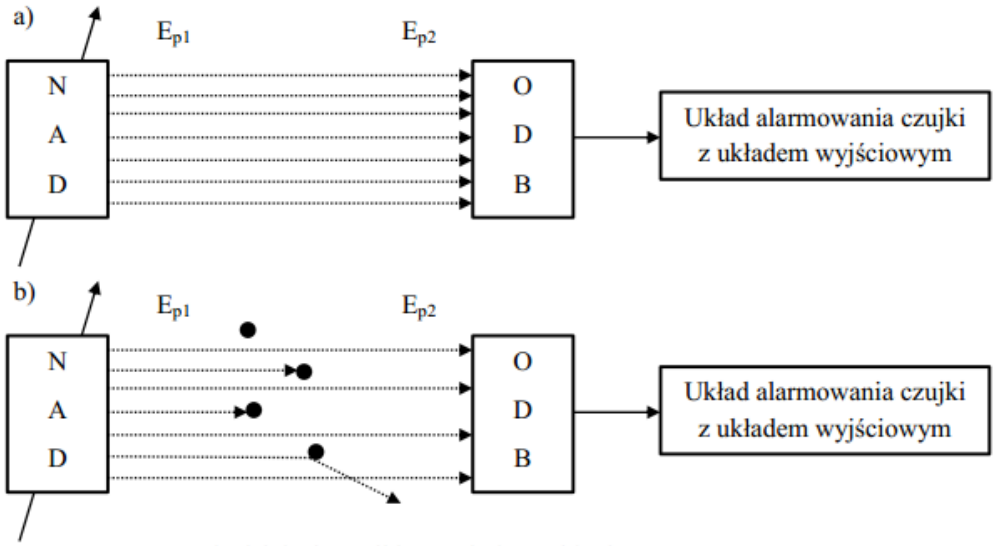
Czujki linowe są szczególnie przydatne tam, gdzie następuje rozproszenie dymu na dużym obszarze. Mogą być instalowane na wysokości nawet 25 m. By zapewnić najwyższą skuteczność należy zastosować drugą warstwę czujek na wysokości do 11 m [1]. Takie ułożenie zapewni odpowiednią czułość dla pożarów płomieniowych i bezpłomieniowych.

Odległość pomiędzy dwoma przeciwległymi ścianami, na których instalowane są czujki liniowe, mieści się zazwyczaj w zakresie 10-100 m. Zakładając maksymalną szerokość strefy dozorowania po 6 m z obu stron wiązki światła, otrzymuje się powierzchnię tej strefy dochodzącą nawet do 1200 m^2. Inną zaletą tego rodzaju czujek jest prosta instalacja, szczególnie czujek z odbiornikiem i nadajnikiem we wspólnej obudowie. Prowadzenie linii dozorowych jest wtedy o wiele prostsze i mniej inwazyjne, ponieważ okablowania układane jest tylko do jednego elementu roboczego. Ma to szczególne znaczenie w budynkach zabytkowych.

Two types of optical beam smoke detectors are available on both the Polish and foreign markets. The receiver can be installed separately from the transmitter, on the opposite wall, so a single detector is divided into two independent devices. A more common solution is to place the transmitter and the receiver inside one casing – a prism reflector or a mirror is then installed on the wall to reflect the beam and redirect it to the receiver. The principle of operation of optical beam smoke detectors is that they measure the degree to which light beams are absorbed by combustion products located between the transmitter and the receiver. Their sensitivity is expressed as the percentage by which the intensity of a light beam emitted by the transmitter decreases after passing through a layer of smoke and reaching the receiver. The optical beam smoke detector calculates the suppression of light along the entire path covered by the light beam, i.e. it averages-out the level of smoke opacity. Owing to this feature, such detectors are well suited to sites where some smoke of a non-fire origin is likely to occasionally occur. Should this happen, such smoke will not trigger a false alarm [3-4].

Optical beam smoke detectors are especially useful wherever smoke becomes dispersed over a vast area. They can be installed as high as at 25 m – in such a case, a second layer of detectors should be provided at the height of up to 11 m [1]. Such an arrangement will ensure the optimum sensitivity to flaming and non-flaming fires.

The distance between two opposite walls with optical beam smoke detectors should generally fall between 10 and 100 m. With the maximum width of the surveillance zone on both sides of the light beam assumed to be 6 m, this zone can reach as much as 1200 m^2. Another advantage of this type of detector is their simple installation, especially in the case of devices with the transmitter and the receiver provided in a single casing. This allows a much easier and less invasive arrangement of surveillance lines, as the wires need only be laid for one working component, a feature especially important in the case of historic buildings.



Układ alarmowania czujki z układem wyjściowym – Alarm circuit of a detector with an output unit

Ryc. 1. Zasada działania liniowej optycznej czujki dymu
czujka w stanie dozorowania b) czujka w stanie alarmowania (gdy zostanie spełnione kryterium zadziałania),
E_p – energia promieniowania, NAD – nadajnik, ODB – odbiornik **[2]**
Fig. 1. Principle of operation of an optical beam smoke detector
the detector in the surveillance mode; b) the detector in the alarm mode (with the 'activation criterion' met);
E_p – emitting power; NAD – the transmitter; ODB – the receiver **[2]**

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.5

Stosowanie czujek liniowych może być problematyczne w sytuacjach, gdy ściany budynku nie są wystarczająco stabilne i podlegają drganiom czy odkształceniom np. pod wpływem wiatru lub rozszerzalności cieplnej. Wiązka światła z zainstalowanej w takim miejscu czujki liniowej może zmieniać swój bieg i nie trafiać w odbiornik, co spowoduje fałszywy alarm lub sygnalizację uszkodzenia. Istnieją modele odporne na tego typu ruchy ścian, np. wykorzystana w badaniach czujka Xtralis OSID. Czujki liniowe zwykle stosowane są w: salach wystawowych, muzeach, kościołach, atriach, długich korytarzach z silnie ukształtowanymi stropami, audytoriach i innych wysokich pomieszczeniach, w których instalacja czujek punktowych nie jest możliwa [1].

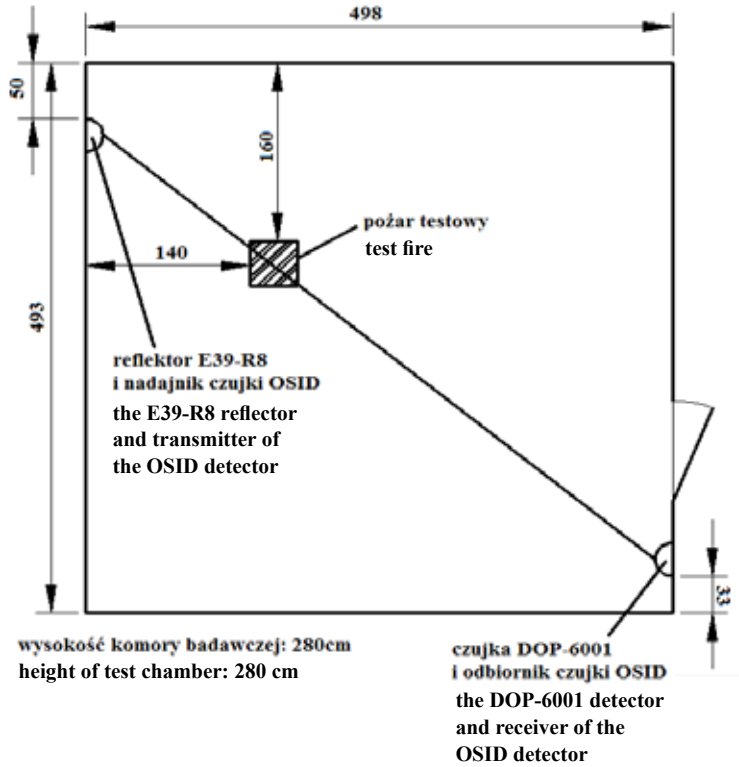
2. Stanowisko badawcze

Badania zostały przeprowadzone w komorze mieszczącej się w laboratorium Zakładu Technicznych Systemów Zabezpieczeń SGSP. Komora to wydzielona przeszklonymi ścianami część laboratorium o wymiarach 493 x 498 cm i wysokości 280 cm. Na suficie zainstalowano różnego rodzaju czujki przeważnie wykorzystywane przez studentów podczas ćwiczeń laboratoryjnych. Na potrzeby niniejszej pracy zainstalowano dwie dodatkowe czujki liniowe: OSID oraz DOP-6001. Czujki zlokalizowano na wysokości 220 cm (OSID) oraz 230 cm (DOP-6001) w pobliżu przeciwległych narożników komory tak, jak pokazano na ryc. 2. Pożar testowy umieszczono w odległości 140 cm i 160 cm od ścian. Dokładne rozmieszczenie elementów przedstawia ryc. 2.

The use of optical beam smoke detectors can be problematic if the building's walls lack stability and are subject to vibrations or deformations, e.g. due to wind or thermal expansion. A light beam from an optical beam smoke detector in such a location can deviate from its course and miss the receiver, thus triggering a false alarm or a damage-warning signal. There are models resistant to such wall movement, such as the Xtralis OSID detector. Places where optical beam smoke detectors are typically used include exhibitions halls, museums, churches, atriums, long corridors with prominently projecting ceilings, auditoria, and other high rooms where safety cannot be provided through spot-type detectors [1].

2. The test facility

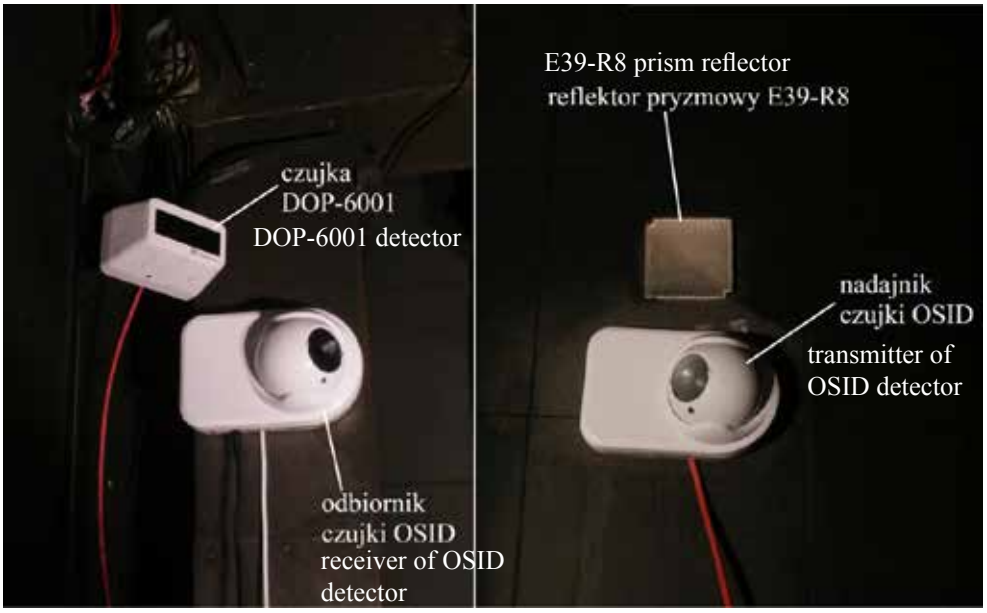
The tests were conducted in a laboratory chamber at the Technical Security Systems Department, the Main School of the Fire Service (SGSP). The chamber is a section of the laboratory separated by glass walls measuring 493 × 498 cm, and 280 cm in height. On the ceiling, various types of detector were installed, normally used by students during their laboratory classes. For the purposes of this article, two extra detectors (the OSID and the DOP-6001) were installed at 220 cm (OSID) and 230 cm (DOP-6001) above ground, next to opposite corners of the chamber, as shown in Fig. 2. The test fires were placed at a distance of 140 cm and 160 cm from the walls. The exact location of the elements is shown in Fig. 2.



Ryc. 2. Rozmieszczenie czujek i pożaru testowego w komorze badawczej – widok z góry
Fig. 2. Location of smoke detectors and the test fire in the experimental chamber
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 67–82
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.5

Ryc. 3. Komora badawcza
Fig. 3. Experimental chamber
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 4. Czujki użyte w badaniu umieszczone w komorze badawczej [3-4]
Fig. 4. Optical beam smoke detectors tested during experimental study [3-4]

2.1. Liniowa czujka dymu Polon-Alfa DOP-6001

Pierwszą badaną czujką była liniowa optyczna czujka dymu produkcji Polon-Alfa model DOP-6001. Wykorzystano jedno zwierciadło E39-R8 o wymiarach 101 x 101 mm. Czujka podłączona była do centrali Polon 6000 na promieniowej linii dozorowej niezawierającej innych elementów liniowych. W centrali ustawiono średni próg czułości czujki (30%). Parametry pracy były przesyłane poprzez interfejs sieciowy centrali do komputera z odpowiednim oprogramowaniem.

2.2. Liniowa czujka dymu OSID

Drugą użytą w badaniu czujką była liniowa optyczna czujka dymu OSID firmy Xtralis. Zestaw składał się z nadajnika

2.1. The Polon-Alfa DOP-6001 optical beam smoke detector

The first device tested was an optical beam smoke detector by Polon-Alfa, model DOP-6001, with an E39-R8 mirror, 101 × 101 mm in size. The detector was connected to the Polon 6000 control panel along a beam surveillance line without any other linear elements. The detector had its sensitivity set to medium (30%) on the control panel, the operating parameters' being transferred via the panel's network interface to a computer with the appropriate software.

2.2. The OSID optical beam smoke detector

The second device in the test was the OSID optical beam detector made by Xtralis. The set comprised an OSE-SPW

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.5

OSE-SPW oraz odbiornika OSI-90. Obydwa elementy zasilane były napięciem 24V DC z zasilaczy będących na wyposażeniu laboratorium. Odbiornik połączono z komputerem PC za pomocą przewodu USB z aktywnym przedłużaczem.

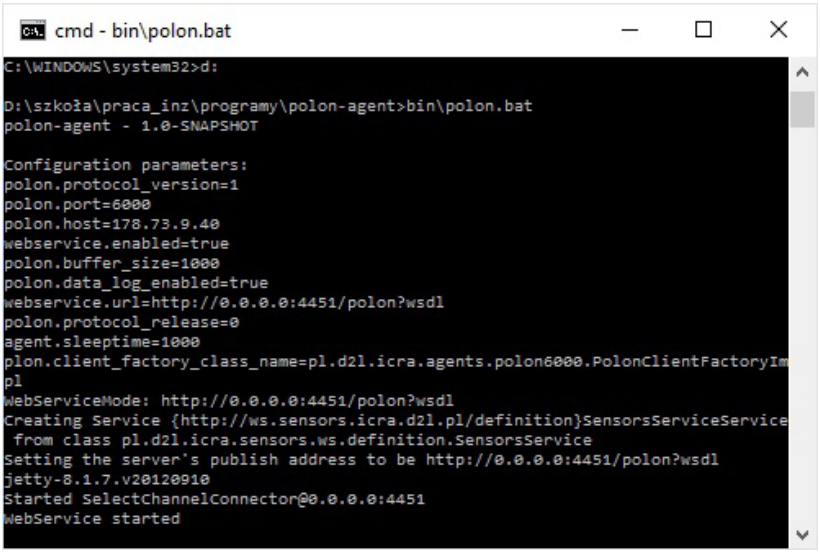
2.3. Komputer z oprogramowaniem

Do monitorowania i zapisywania parametrów pracy i stanu czujek został wykorzystany komputer PC z odpowiednim oprogramowaniem. Komputer pracował pod kontrolą systemu operacyjnego Windows 10. Do monitorowania czujki DOP-6001 zostały użyte programy Polon-agent oraz PSPclient. Są to programy napisane przez producenta czujki specjalnie na potrzeby Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Pierwszy z nich zapisuje parametry pracy czujki przekazane przez centralę Polon 6000 poprzez sieć lokalną do pliku tekstowego, drugi program wyświetla te parametry w celu wygodniejszego odczytywania w czasie rzeczywistym. Pracę czujki OSID monitorował program OSID Diagnostic Tool V3.00.03 dostarczony przez producenta. Łączył się on z czujką za pomocą interfejsu USB. Podczas prób programy rejestrowały czas, jaki upłynął od początku badania do wejścia czujek w stan alarmu oraz parametry pracy czujek w czasie rzeczywistym.

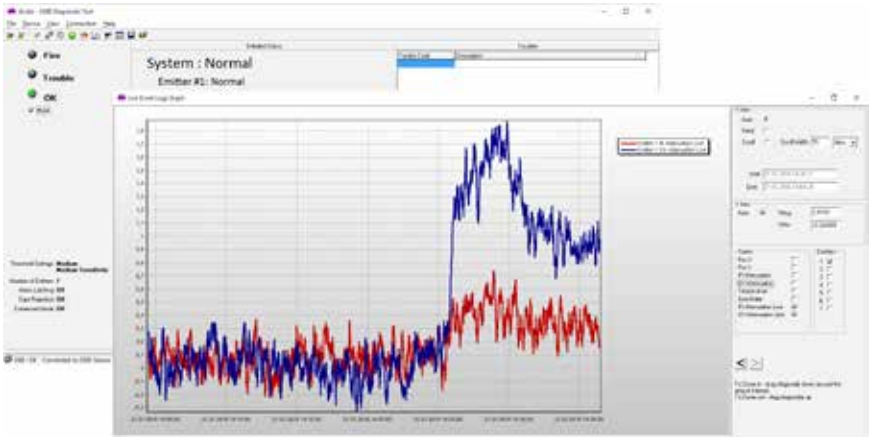
transmitter and an OSI-90 receiver. Both these elements received 24V DC power from power supplies which were part of the laboratory's equipment. The receiver was connected to a PC computer via a USB cable with an active extension cord.

2.3. The computer with the software

To monitor and record the operating parameters and the status of the detectors, a PC workstation with Windows 10 and the appropriate software was used. The DOP-6001 detector was monitored with the Polon-agent and PSPclient software, developed by the manufacturer specifically for the needs of the Main School of the Fire Service. The former of these programs records the detector's operating parameters transferred by the Polon 6000 control panel to a text file; the latter displays these parameters in a convenient format allowing them to be read in real time. The OSID detector was monitored by OSID Diagnostic Tool V3.00.03, provided by the manufacturer and connected to the device via a USB interface. During the tests, the programs recorded the time elapsed from the start of each test until the detectors entered the alarm mode, as well as the detectors' operating parameters in real time.



Ryc. 5. Interfejs tekstowy programu Polon-agent
Fig. 5. Software interface of Polon-agent
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 6. Interfejs programu OSID Diagnostic Tool z wykresem osłabienia wiązek promieniowania emitowanych przez nadajnik czujki OSID
Fig. 6. Software interface of the OSID Diagnostic Tool with the reading of the radiation diffraction emitted by the OSID Optical beam smoke detector
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

2.4. Spalanie bezpłomieniowe

Do badania wykorzystano żeliwną płytę grzewczą o średnicy 19 cm zasilaną prądem elektrycznym o napięciu 230 V. Płyta po rozgrzaniu utrzymywała stabilną temperaturę 270°C. Do przeprowadzenia jednej próby wykorzystano 6 kawałków drewna o wymiarach 20 x 25 x 75 mm. Drewno było równomiernie rozkładane na powierzchni rozgrzanej płyty. W momencie położenia drewna na płycie uruchamiano zapis parametrów pracy czujek. Mierzono czas od momentu położenia drewna na powierzchni płyty do wejścia obydwu badanych czujek w stan alarmu. Po uruchomieniu alarmu ściągano drewno z powierzchni płyty, zanurzano je w wiadrze z wodą i wietrzono komorę testową.

2.5. Spalanie płomieniowe

W celu przeprowadzenia próby ze spalaniem płomieniowym na tacy o wymiarach 200 x 200 mm układano stos 24 beleczek o wymiarach 10 x 20 x 250 mm (zgodnie z normą ISO/TS 7240-9) w konfiguracji 4 warstwy po 6 beleczek. Pod stosem na środku tacy umieszczano okrągłą tackę o średnicy 5 cm z zawartością 0,5 cm^3 denaturatu. Alkohol był podpalany za pomocą zapalarki gazowej. W momencie zapalenia denaturatu uruchamiano zapis parametrów pracy czujek. Próba kończyła się w momencie wejścia obydwu czujek w stan alarmu. W tym momencie rozpoczynano gaszenie pożaru testowego wodą oraz wietrzenie komory testowej.

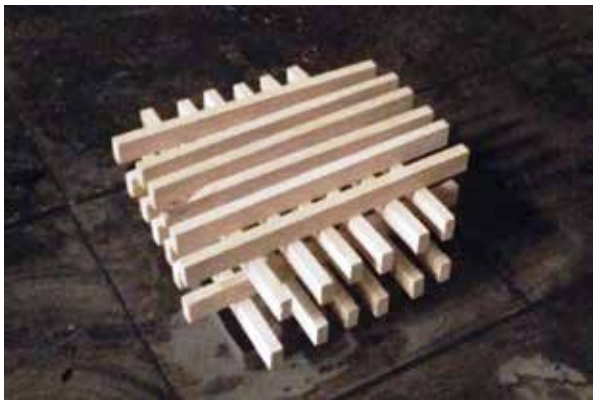
2.4. Non-flaming combustion

This test used a cast-iron hotplate, 19 cm in diameter, powered by 230 V electric current. After heating, the hotplate retained a stable temperature of 270°C. For a single test, six pieces of wood were used 20 × 25 × 75 mm in size. The wood was arranged evenly on the surface of the heated hotplate. The recording of the detectors' operating parameters started once the wood was laid on the hotplate. Then, the time was measured between the laying of the wood on the hotplate surface and the entering of both detectors into the alarm mode. After the alarm activated, the wood was taken off the hotplate surface and submerged in a water bucket; the test chamber was then aired out.

2.5. Flaming combustion

For the test with flaming combustion on a tray measuring 200 × 200 mm, a pile of 24 beams 10 × 20 × 250 mm (in accordance with ISO/TS 7240-9) in size was laid, arranged in 4 layers, 6 beams each. Under the pile, at the centre of the tray, another, round, tray was placed, with a diameter of 5 cm, containing 0.5 cm^3 of denatured alcohol. The alcohol was set on fire with a gas lighter. The recording of the detectors' operating parameters started once the fire was lighted. The test ended when both detectors entered the alarm mode. At this point, the fire was extinguished with water and the test chamber was aired out.

Ryc. 7. Ułożenie drewnianych beleczek na płycie grzewczej w pożarze testowym do spalania bezpłomieniowego
Fig. 7. Beams used in the experiments as a source of non-flaming combustion
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 8. Ułożenie drewnianych beleczek w pożarze testowym do spalania płomieniowego
Fig. 8. Beams used in the experiments as a source of flaming combustion
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.5

Ryc. 9. Pożar testowy w trakcie badania
Fig. 9. Test fire during the experiments
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

3. Wyniki badań

Przeprowadzono po trzy próby dla wszystkich rodzajów drewna zarówno przy spalaniu bezpłomieniowym, jak i płomieniowym. Warunki panujące w komorze badawczej były zbliżone dla wszystkich prób:

- temperatura: 21°C;
- ciśnienie: 1005-1020 hPa;
- wilgotność powietrza: 40-60%.

Dane rejestrowane przez program Polon-agent przetwarzano za pomocą programu Microsoft Excel 2013, co pozwoliło przedstawić wyniki badań w formie wykresów. Program OSID Diagnostic Tool nie posiada funkcji zapisu parametrów pracy czujki Xtralis OSID w formie danych do dalszego przetworzenia. Wobec tej niedogodności wykonywano zrzuty ekranu z otwartym oknem głównym oraz oknem wykresu pochłaniania wiązek promieniowania emitowanych przez nadajnik czujki OSID. Zrzuty wykonywano w momencie startu próby (czyli położenia drewnianych beleczek na powierzchni płyty grzewczej dla badania ze spalaniem bezpłomieniowym oraz podpalenia denaturatu w badaniu ze spalaniem płomieniowym) i w momencie wejścia poszczególnych czujek w stan alarmu. Na ekranie komputera cały czas widoczny był zegar z sekundnikiem, co pozwoliło na późniejsze spisanie czasów zadziałania czujek z dokładnością do 1 sekundy.

Wykresy liniowe dla czujki DOP-6001 oraz wykresy słupkowe wykonano w programie Microsoft Excel 2013 na podstawie danych wyjściowych programu Polon-agent i tabel z wynikami badań. Wykresy liniowe dla czujki OSID mają postać zrzutu ekranu z okna wykresu osłabienia wiązek światła w zakresie UV i IR w funkcji czasu wg programu OSID Diagnostic Tool. W związku z tym przedstawiono po jednym wykresie dla każdego gatunku drewna dla spalania bezpłomieniowego i płomieniowego. Wykresy czujki OSID dla wszystkich trzech prób w ramach jednego gatunku drewna wyglądają bardzo podobnie, różnicą jest tylko zmiana skali osi czasu. Na wykresach w celu łatwiejszego odczytu czarną linią zaznaczono odcinek czasu o długości odpowiadającej wartości umieszczonej nad linią. Ponieważ wykresy czujki OSID są niezbyt czytelne, zostały przytoczone jedynie w celach orientacyjnych.

3. Results

Three tests were performed for all types of wood, with both non-flaming and flaming combustion. The conditions inside the test chamber were similar for all the tests:

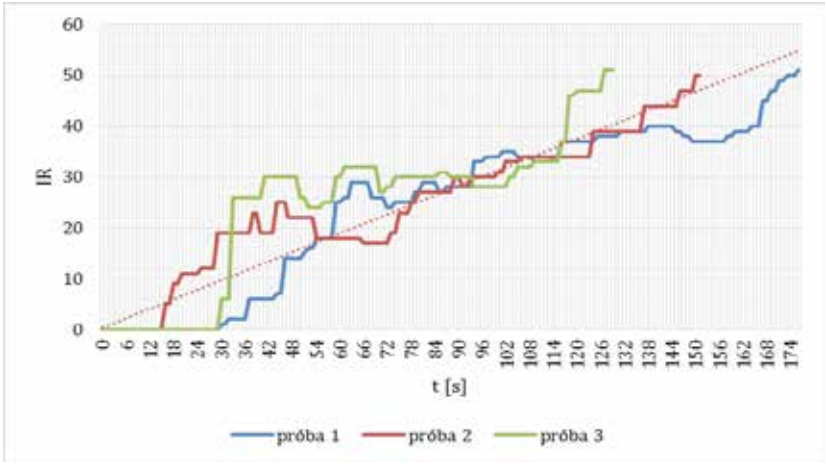
- temperature: 21°C;
- pressure: 1005-1020 hPa;
- humidity: 40-60%.

The data recorded by Polon-agent software were processed with Microsoft Excel 2013, which allowed the results to be presented as charts. The OSID Diagnostic Tool does not offer the function of saving the operating parameters of the Xtralis OSID detector as data ready for further processing. In view of this inconvenience, screenshots were taken of the main window and the chart showing the absorption of radiation beams emitted by the OSID detector's transmitter. Screenshots were taken when the test started (i.e. when the wooden beams were arranged on the hotplate surface for the non-flaming combustion test, and when the denatured alcohol was set on fire in the flaming-combustion test) and each of the detectors entered the alarm mode. For the entire duration of the experiment, the computer display showed the exact time, so the moment when the detectors activated could be recorded with an accuracy of up to 1 second.

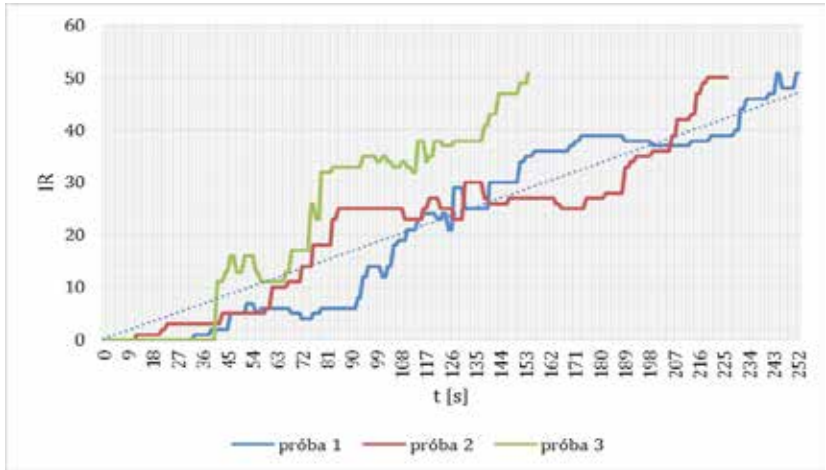
The line charts for the DOP-6001 detector and the bar charts were drawn in Microsoft Excel 2013 on the basis of output data from the Polon-agent software and tables containing the results of the experiments. The line charts for the OSID detector are presented in a screenshot with the diagram showing the suppression of light beams in the UV and IR spectrum against the function of time, as interpreted by the OSID Diagnostic Tool. Therefore, one chart for each wood type was presented for non-flaming and flaming combustion. The charts for the OSID detector for all three tests within one type of wood are very similar, the only difference being a change in the scale of the timeline. For easier reading, each chart includes a black line which depicts the stretch of time with its length corresponding to the value above the line. As the charts for the OSID detector are not clearly legible, they were provided for reference only.

3.1. Parametry czujek podczas prób

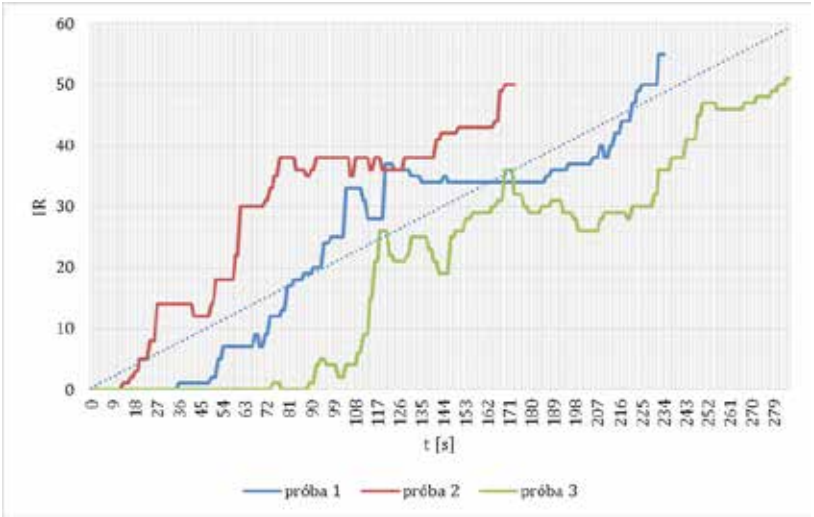
3.1. Detector parameters during the tests



Ryc. 10. Przebieg parametru IR czujki DOP-6001 w czasie dla drewna sosnowego – spalanie bezpłomieniowe
Fig. 10. Evolution of the IR parameter of the DOP-6001 optical beam smoke detector over time for pine wood – non-flaming combustion (test 1 / 2 / 3)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

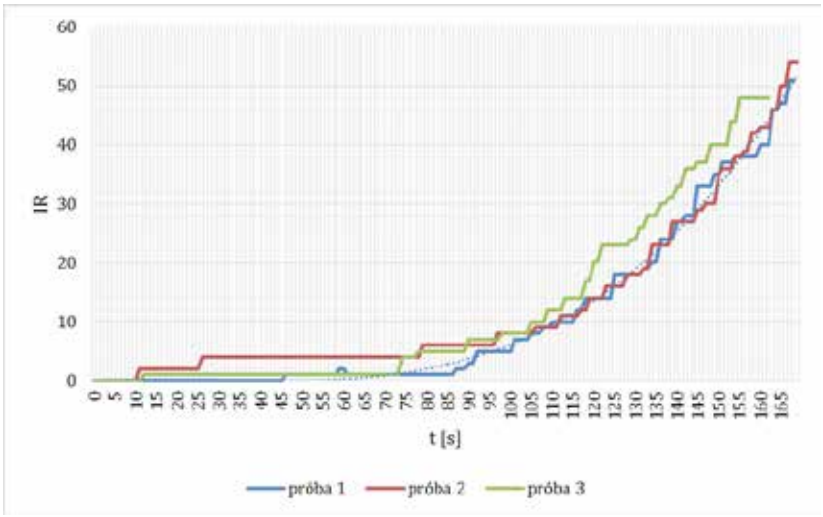


Ryc. 11. Przebieg parametru IR czujki DOP-6001 w czasie dla drewna brzozowego – spalanie bezpłomieniowe
Fig. 11. Evolution of the IR parameter of the DOP-6001 optical beam smoke detector over time for birch-tree wood – non-flaming combustion (test 1 / 2 / 3)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

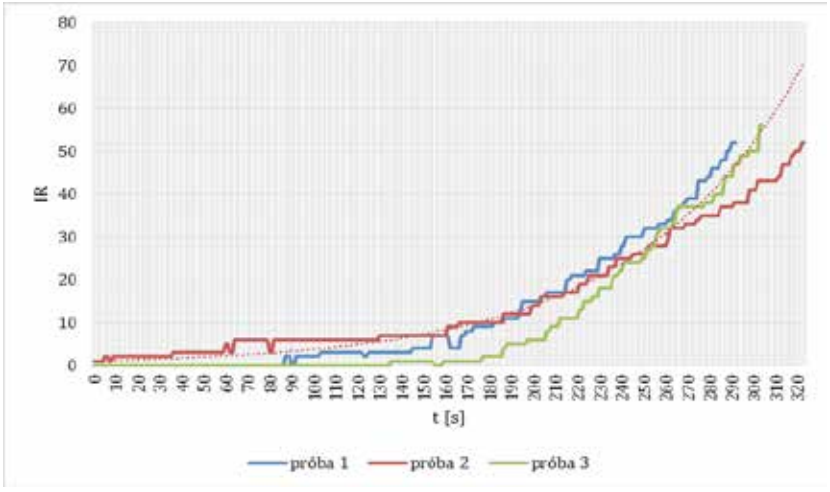


Ryc. 12. Przebieg parametru IR czujki DOP-6001 w czasie dla drewna jesionowego – spalanie bezpłomieniowe
Fig. 12. Evolution of the IR parameter of the DOP-6001 optical beam smoke detector over time for ash wood – non-flaming combustion (test 1 / 2 / 3)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

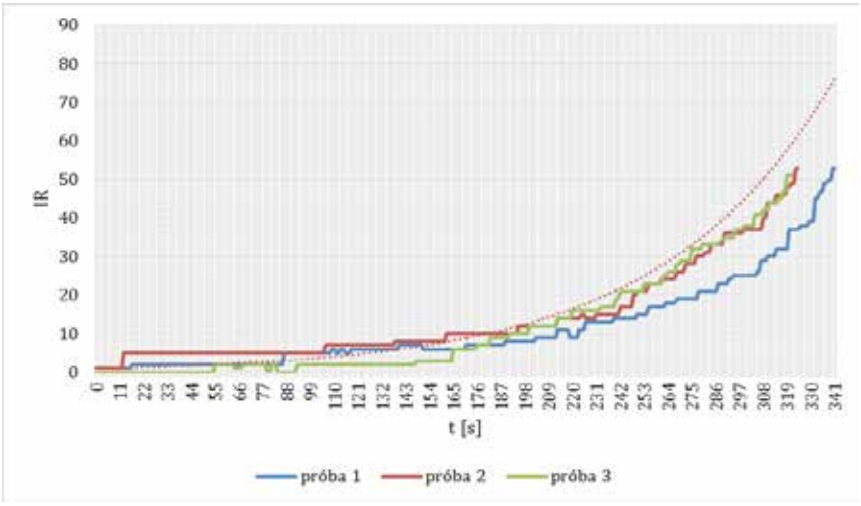
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.5



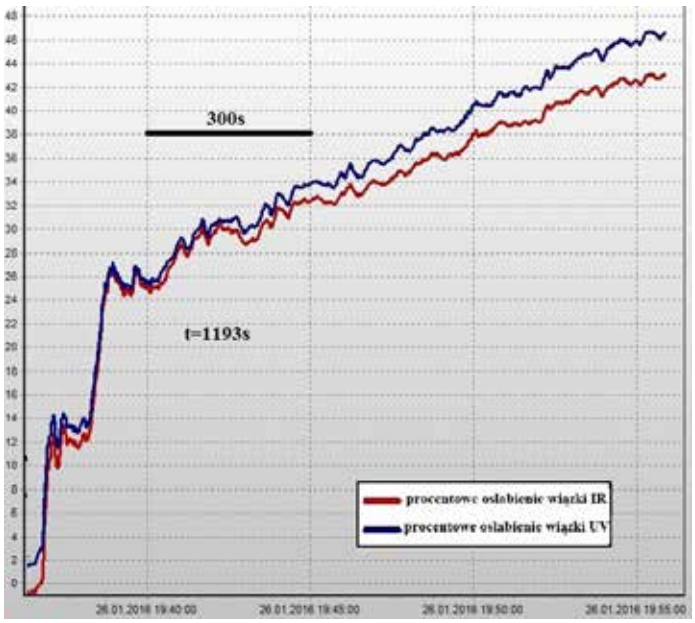
Ryc. 13. Przebieg parametru IR czujki DOP-6001 w czasie dla drewna sosnowego – spalanie płomieniowe
Fig. 13. Evolution of the IR parameter of the DOP-6001 optical beam smoke detector over time for pine wood – flaming combustion (test 1 / 2 / 3)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



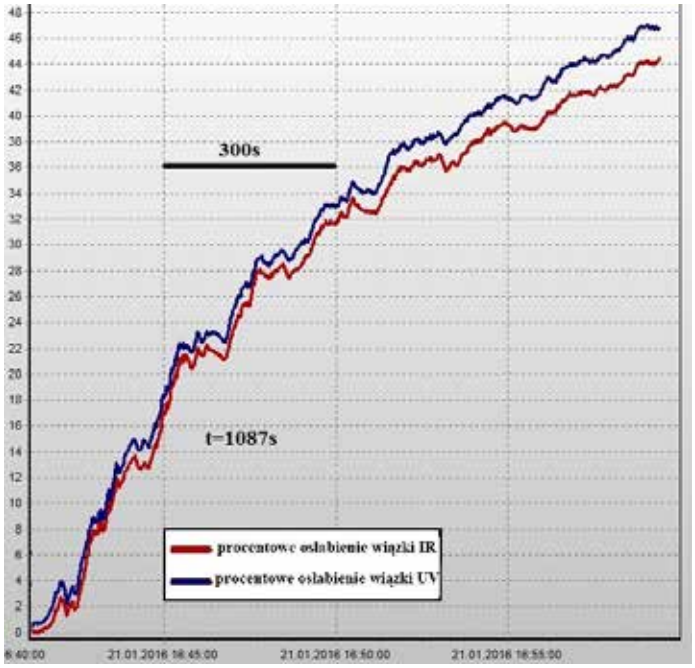
Ryc. 14. Przebieg parametru IR czujki DOP-6001 w czasie dla drewna brzozowego – spalanie płomieniowe
Fig. 14. Evolution of the IR parameter of the DOP-6001 optical beam smoke detector over time for birch-tree wood – flaming combustion (test 1 / 2 / 3)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 15. Przebieg parametru IR czujki DOP-6001 w czasie dla drewna jesionowego – spalanie płomieniowe
Fig. 15. Evolution of the IR parameter of the DOP-6001 optical beam smoke detector over time for ash wood – flaming combustion (test 1 / 2 / 3)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 16. Przebieg osłabienia wiązek światła czujki OSID dla drewna sosnowego – spalanie bezpłomieniowe
Fig. 16. Evolution of the light-beam suppression of the OSID optical beam smoke detector for pine wood – non-flaming combustion; red colour – suppression of VR beam (%), blue colour - suppression of UV beam (%)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

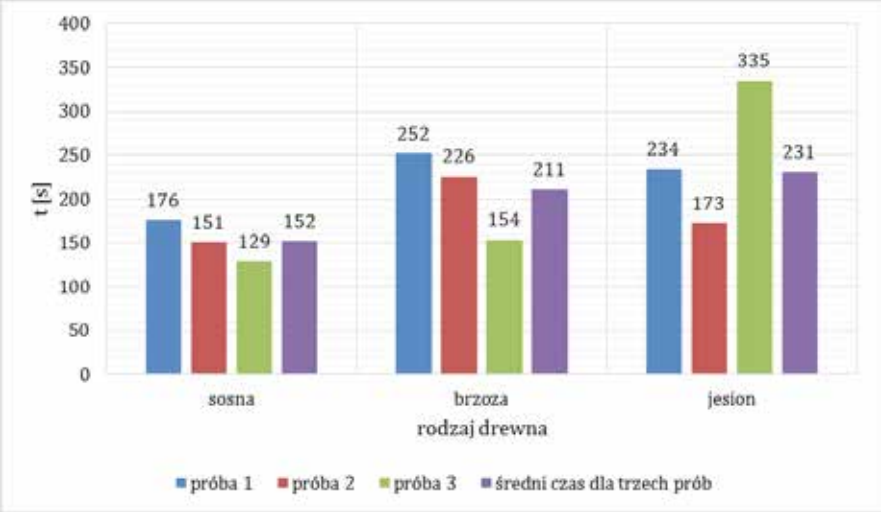


Ryc. 17. Przebieg osłabienia wiązek światła czujki OSID dla drewna brzozowego – spalanie bezpłomieniowe
Fig. 17. Evolution of the light-beam suppression of the OSID optical beam smoke detector for birch-tree wood – non-flaming combustion; red colour – suppression of VR beam (%), blue colour – suppression of UV beam (%)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

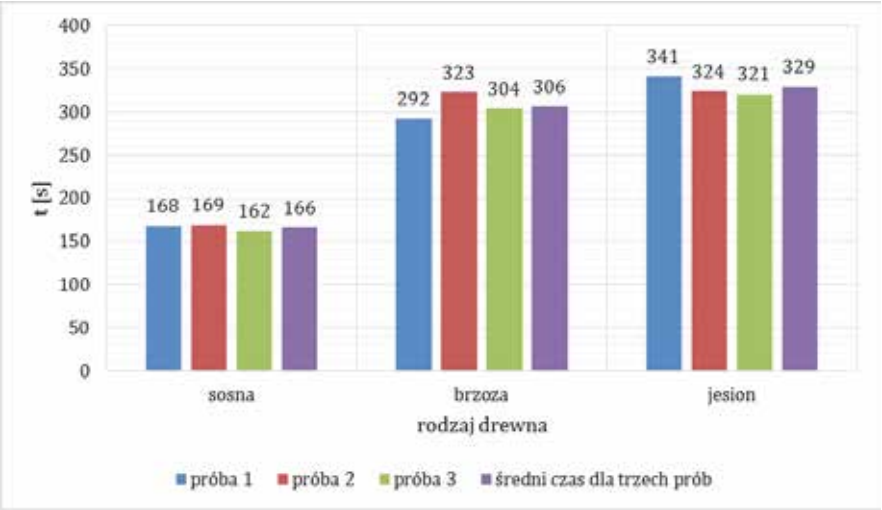
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.5

3.2. Porównanie czasów zadziałania czujki DOP-6001 dla wszystkich prób

3.2. Comparison of the activation times of the DOP-6001 optical beam smoke detector for all tests



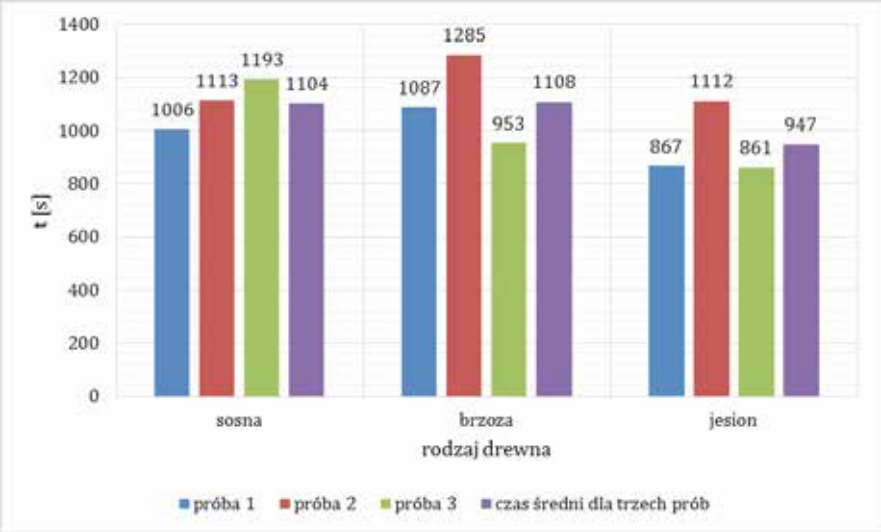
Ryc. 18. Porównanie czasów zadziałania czujki DOP-6001 dla wszystkich prób – spalanie bezpłomieniowe
Fig. 18. Comparison of the activation times of the DOP-6001 detector for all tests – non-flaming combustion.
Horizontal axis (from left) - wood type: pine, birch, ash; blue - test 1, red - test 2, green - test 3, purple - average time for three tests
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



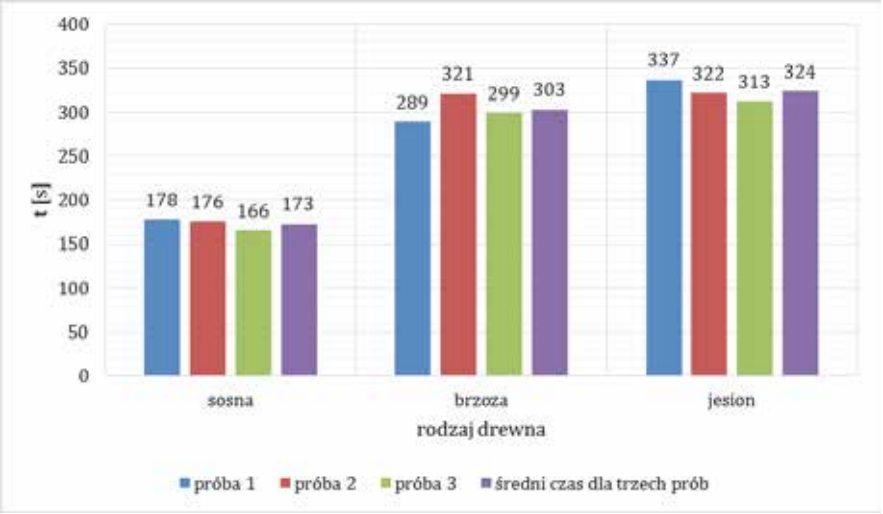
Ryc. 19. Porównanie czasów zadziałania czujki DOP-6001 dla wszystkich prób – spalanie płomieniowe
Fig. 19. Comparison of the activation times of the DOP-6001 detector for all tests – flaming combustion.
Horizontal axis (from left) - wood type: pine, birch, ash; blue - test 1, red - test 2, green - test 3, purple - average time for three tests
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

3.3. Porównanie czasów zadziałania czujki OSID dla wszystkich prób

3.3. Comparison of the activation times of the OSID detector for all tests



Ryc. 20. Porównanie czasów zadziałania czujki OSID dla wszystkich prób – spalanie bezpłomieniowe
Fig. 20. Comparison of the activation times of the **OSID** detector for all tests – non-flaming combustion.
Horizontal axis (from left) - wood type: pine, birch, ash; blue - test 1, red - test 2, green - test 3, purple - average time for three tests
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

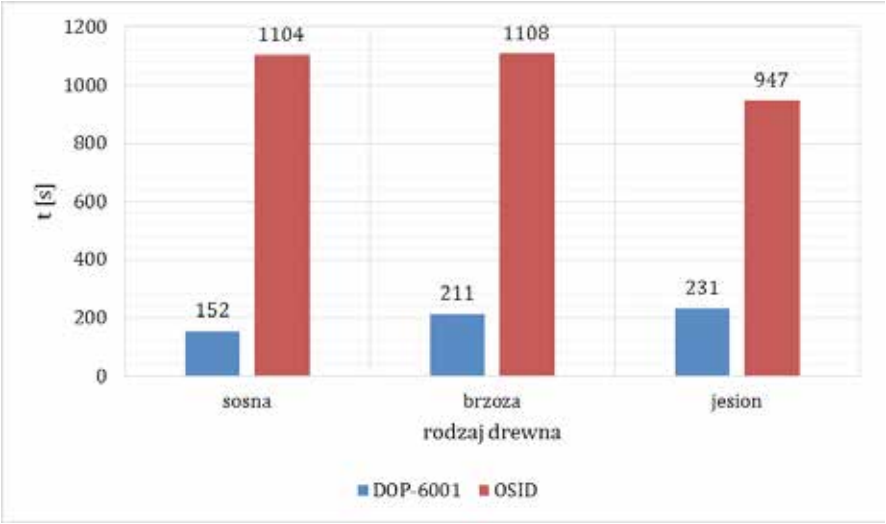


Ryc. 21. Porównanie czasów zadziałania czujki OSID dla wszystkich prób – spalanie płomieniowe
Fig. 21. Comparison of the activation times of the **OSID** detector for all tests – flaming combustion.
Horizontal axis (from left) - wood type: pine, birch, ash; blue - test 1, red - test 2, green - test 3, purple - average time for three tests
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

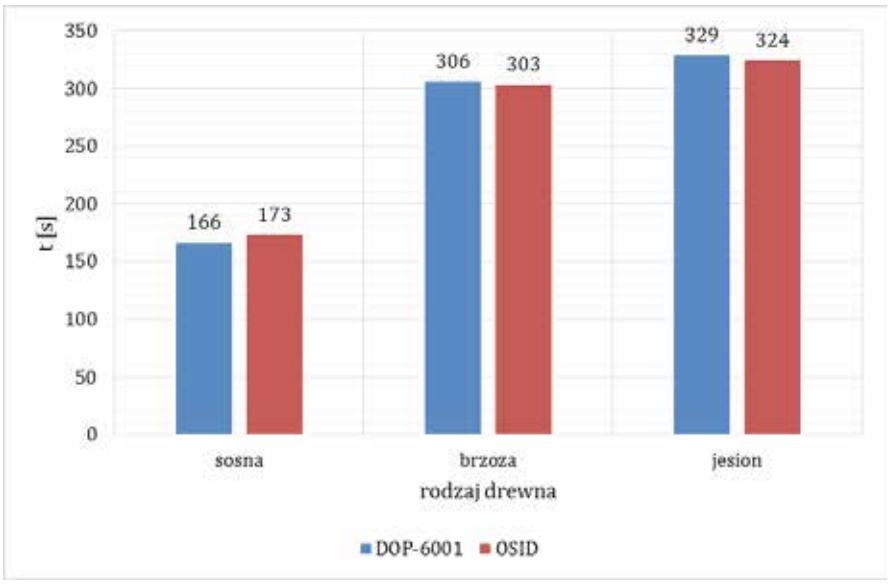
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.5

3.4. Porównanie średnich czasów zadziałania obydwu czujek dla różnych gatunków drewna

3.4. Comparison of the activation times of both detectors for all tested wood types



Ryc. 22. Porównanie średnich czasów zadziałania obydwu czujek dla różnych gatunków drewna – spalanie bezpłomieniowe
Fig. 22. Comparison of the activation times of both detectors for all tested wood types – non-flaming combustion. Horizontal axis (from left) – wood type: pine, birch, ash
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 23. Porównanie średnich czasów zadziałania obydwu czujek dla różnych gatunków drewna – spalanie płomieniowe
Fig. 23. Comparison of the activation times of both detectors for all tested wood types – flaming combustion. Horizontal axis (from left) – wood type: pine, birch, ash
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

4. Podsumowanie

W próbach ze spalaniem bezpłomieniowym dym zaczynał się wydzielać niezwłocznie po umieszczeniu drewna na płycie grzewczej, a proces tlenia się drewna był jednostajny. Przebieg parametrów pracy czujek w czasie jest w dużym przybliżeniu liniowy, co oznacza jednostajne tempo zmniejszania się przezroczystości powietrza w komorze badawczej. Spalanie płomieniowe rozpoczynało się od małego płomienia podpalonego alkoholu, który inicjował spalanie drewna. Szybkość spalania, a co za tym idzie ilość wydzielanego dymu, cały czas rosła, co powodowało przebieg parametrów pracy

4. Summary

In the non-flaming combustion tests, smoke started to be produced as soon as the wood was laid on the hotplate, and the wood-smouldering process was uniform. The evolution of the detectors' operating parameters over time is roughly exponential, which means that the air in the test chamber loses its transparency at an even pace. The flaming combustion started with a small flame from the alcohol set on fire, which initiated the combustion of the wood. The burning rate and the resulting amount of smoke continued to rise throughout the entire test, causing operating parameters of the beam

czujek liniowych dymu w czasie zbliżony do wykładniczego. Tłumienie wiązek światła wysyłanych przez nadajnik czujki OSID, przebiega różnie, w zależności od typu spalania. Dym pochodzący ze spalania bezpłomieniowego początkowo tłumi obie wiązki jednakowo, dopiero po pewnym czasie (ok. 5 min) pojawia się znacząca różnica pomiędzy tłumieniem UV oraz IR. Podczas spalania płomieniowego różnica jest widoczna natychmiast i wyraźnie powiększa się wraz z rozwojem pożaru testowego.

Kryteria wejścia czujki OSID w stan alarmu są złożone. Dla spalania płomieniowego czujka reagowała przy różnicy w tłumieniu dwóch wiązek na poziomie 20-25% (średnio 22%). Przy spalaniu bezpłomieniowym było to 2-8% (średnio 4%). Niejednokrotnie czujka rejestrowała taką różnicę na długo przed wejściem w stan alarmu.

Dla obydwu typów czujek stwierdzono mniejsze rozbieżności w czasie zadziałania pomiędzy poszczególnymi próbami dla jednego rodzaju drewna przy spalaniu płomieniowym w porównaniu do bezpłomieniowego. Może to wynikać z faktu, że proces spalania płomieniowego charakteryzuje się większą dynamiką rozwoju, natomiast tlenie zachodzi równomiernie z małą szybkością, na którą wpływ mają wszelkie cechy budowy użytych próbek drewna. Występują bardzo duże różnice w czasie zadziałania każdej z dwóch czujek w warunkach spalania bezpłomieniowego. Czujka OSID reaguje po kilkakrotnie dłuższym czasie podczas tej samej próby. Obydwie czujki reagują w bardzo zbliżonym czasie w przypadku spalania płomieniowego, różnice wynoszą maksymalnie kilkanaście sekund.

Wraz ze wzrostem gęstości drewna rośnie czas wykrycia jego pożaru. Jedynym wyjątkiem jest działanie czujki OSID podczas prób ze spalaniem bezpłomieniowym. Płomieniowe spalanie drewna sosnowego wykrywane jest po upływie wyraźnie krótszego czasu niż pozostałych gatunków, na co oprócz mniejszej gęstości, ma wpływ duża zawartość żywicy. Podczas pirolizy drewno sosnowe wydziela więcej lotnych produktów, które przyspieszają rozwój pożaru.

smoke detectors to evolve nearly exponentially over time. The lights beams sent by the transmitter of the OSID detector are suppressed with a varied intensity, depending on the type of combustion. Initially, the smoke from non-flaming combustion suppresses both beams evenly and it is only after some time (approx. 5 minutes) that a marked difference occurs between the suppression of UV and IR. During flaming combustion, the difference is visible immediately and clearly intensifies as the test fire develops.

The criteria for entering into the alarm mode by the OSID detectors are complex. For flaming combustion, the detector responded when the difference between the suppression of two beams reached 20-25% (22% on average). For non-flaming combustion, this was 2-8%, (4% on average). It was often the case that the detector recorded such a difference long before it entered the alarm mode.

For both detectors, minor discrepancies were found in the moment of activation between individual tests for one type of wood in flaming combustion, as compared to non-flaming combustion. This might stem from the fact that the process of flaming combustion is characterised by greater developmental dynamics; smouldering, in turn, develops uniformly, at a low pace affected by all the properties of the wood samples used. Major differences can be observed as regards the moment of activation of both detectors in non-flaming combustion. In the same test, the OSID detector needs substantially more time to respond. The response time of both detectors in flaming combustion is very similar, with differences of no more than 10-20 seconds.

As the density of wood grows, it takes more time for a fire from such wood to be detected. The only exception is how the OSID detector works during non-flaming combustion tests. The flaming combustion of pine wood is detected after a noticeably shorter time than of other types of wood, which, in addition to lower density, results from the high amount of resin. During pyrolysis, pine wood emits more volatile products that accelerate the rate at which the fire develops.

Literatura / Literature

[1] SITP WP – 02:2010 Wytyczne projektowania instalacji sygnalizacji pożarowej
[2] Wnęk W., Kustra P., Gancarczyk P., Tuzimek Z., Łoza H., *Laboratorium technicznych systemów zabezpieczeń*, SGSP, Warszawa 1999.
[3] Karta katalogowa optycznej liniowej czujki dymu DOP 6001, POLON-ALFA http://www.polon-alfa.pl/sites/default/files/polon/pliki/DOP-6001_d.pdf, [dostęp: 09.02.2016].
[4] http://www.hochikiamerica.com/products/literature/instructions/15204_A4_OSID_Product_Guide_A4_IE_lores.pdf , [dostęp: 09.02.2016].
[5] SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, SFPE, 2015.

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.44.4.2016.5

* * *

mł. bryg. dr inż. Rafał Porowski – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz Politechniki Warszawskiej. W latach 2009-2010 w ramach stypendium Fulbrighta pracował w California Institute of Technology w USA. Obecnie pracuje jako adiunkt w Szkole Głównej Służby Pożarniczej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego.
Rafał Porowski, Ph.D., Eng. – a graduate from the Main School of Fire Service in Warsaw and the Warsaw University of Technology. In 2009-2010, under Fulbright scholarship, he worked at the California Institute of Technology. Currently, he is assistant professor at the Faculty of Fire Safety Engineering, the Main School of Fire Service.

inż. Norbert Janik – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie.
Norbert Janik, Eng. – a graduate from the Main School of Fire Service in Warsaw.

inż. Tomasz Wdowiak – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Obecnie pracuje w Szkole Głównej Służby Pożarniczej na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego.
Tomasz Wdowiak, Eng. – a graduate from the Main School of Fire Service in Warsaw. Currently works at the Faculty of Fire Safety Engineering, the Main School of Fire Service.

st. bryg. dr inż. Waldemar Wnęk – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie oraz Politechniki Warszawskiej. Obecnie pełni funkcję kierownika Katedry Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego w Szkole Głównej Służby Pożarniczej.
Waldemar Wnęk, Ph.D., Eng. – a graduate from the Main School of Fire Service in Warsaw and the Warsaw University of Technology. Head of the Chair of Structure Safety and Hazard Detection at the Faculty of Fire Safety Engineering, the Main School of Fire Service.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.6

проф. д-р. техн. наук **Пашковский П.С. /** prof. **Pashkovskiy P.S.**, Ph.D.[1]
д-р техн. наук **Греков С.П. / Grekov S.P.**, Ph.D.[1]
канд. техн. наук **Зинченко И.Н. / Zinchenko I.N.**, Ph.D.[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 24.02.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 25.11.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Единый подход к решению задач теплогазообмена при пожарах на различных объектах[2]

Combined Approach to Solving Issues of Heat and Gas Exchange Caused by Fires in Different Locations

Wspólne podejście do rozwiązywania zagadnień wymiany masy i gazów zachodzącej podczas pożarów w różnych obiektach

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью исследований является обобщение существующих математических моделей теплогазообмена и приведение их к одному уравнению переноса любой субстанции при пожарах в шахтах и на других объектах с учётом термического расширения газов.
Введение: При оценке пожароопасности необходимо знать время продолжительности пожара и время достижения величины опасного фактора, такого например, как величины токсичного газа и задымленности. Реальный пожар, как неконтролируемое горение, является сложным, до конца неизученным нестационарным процессом, протекающим в трёхмерном пространстве. Для описания этого процесса используются как основные: уравнение сохранения и превращения энергии, уравнение конвективно-диффузионного переноса компонентов различных газов и уравнение конвективно-диффузионного переноса дыма.
Методы: Для получения решений уравнения переноса любой субстанции использован численный метод центральных разностей явной и неявной схем с заданным удельным весом одной из них.
Результаты: Рассматривается дозвуковое течение воздуха со скоростями менее 10 м/с. При таких скоростях согласно уравнению Бернулли давление меняется незначительно по отношению к атмосферному. Поэтому уравнение состояния с достаточной степенью точности заменяется уравнением для нормальных условий. Это позволило в безразмерном виде представить систему уравнений сохранения и превращения
энергии, конвективно-диффузионного переноса компонентов различных газов и дыма одним универсальным уравнением. Разработан численный метод решения задачи. Дана расчетная схема, которая является комбинированной: явной и неявной.
Представленная схема расчета реализована на шеститочечном шаблоне «Медведица». На конкретных примерах показано сравнение предложенного численного метода с аналитическими кривыми изменения во времени и на различных расстояниях функции выделения тепла и газа в проветриваемом канале.
Выводы: Предложено универсальное уравнение в безразмерном виде, описывающее одним уравнением систему уравнений сохранения и превращения энергии, конвективно-диффузионного переноса компонентов различных газов и дыма. Дана расчетная схема «Медведица», позволяющая получать численным методом достоверные данные о динамике процессов теплогазообмена в каналах, коридорах и горных выработках.

Ключевые слова: пожары, теплогазообмен, уравнения переноса, численный метод, аналитические решения, сходимость, термическое расширение, единый подход
Вид статьи: оригинальная научная статья

ABSTRACT

Aim: The purpose of this study is to expose existing mathematical models dealing with heat and gas exchange, and reduce them to a single transfer equation, for any substance, during fire incidents inmines and other locations, by taking account of heated gas thermal expansion.
Introduction: In order to perform an assessment of a fire hazard it is necessary to know the duration of a fire and period in which the fire will reach dangerous levels such as: concentration of toxic gases and saturation by smoke. A fire, manifested by an uncontrolled burning activity is a diffucult, unstable and ultimately not fully understood process, which occurs within a three dimensional expanse. This process is described,

[1] Научно-исследовательский институт горноспасательного дела и пожарной безопасности «Респиратор», Донецк / The "Respirator" Scientific Research Institute of Mine-rescue Work and Fire Safety, Donetsk, niigd@mail.ru;
[2] Процентоне соотношение участия в подготовке статьи / Percentage contribution: Pashkovskiy P.S. – 25%, Grekov S.P. – 25%, Zinchenko I.N. – 50%;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.6

in the main, by mathematical equations dealing with behaviour principles involving conservation and conversion of energy, convection and diffused transfer of various gas components as well as smoke.
Methods: In order to obtain anequation describing the transfer process for any substance, use is made of the central (finite) differences numerical method, for explicit and implicit conditions, using specific weighting appropriate to each.
Results: The study examined the flow of air at velocities below the speed of sound – at less than 10m/s. According to the Bernoulli equation pressure changes insignificantly in relation to atmospheric pressure at such speed. Therefore, an equation describing this condition can be satisfactorily interchanged with an equation for normal conditions. This made it possible to depict a system of equations, in a dimensionless form, to address the behaviour and transformation of energy as well as convective and diffused transfer of components for different gasses and smoke using one universal equation. A numeric approach was developed to address issues. The designed calctulation diagram, incorporating explicit and implicit conditions is realised with the use of a "Miedwiedzcia" template. Specific examples illustrate comparisons between proposed calculations and graph analysis of variations in time and range of heat, and gas release in a ventilated channel.
Conclusions: The article advocates a universal solution in a dimensionless form, which with the use of one equation describes a system of equations for conserving and transformation of energy, and transfer of different gas and smoke components by convective and diffused methods. The "Miedwiedzcia" template facilitates the capture of data dealing with the dynamics of heat and gas transfer processes in channels, corridors and mines.

Keywords: fires, heat and gas exchange, transfer equations, numerical procedure, analytical solutions, convergence, thermal expansion, combined approach
Type of article: original scientific article

ABSTRAKT

Cel: Celem badań jest generalizacja istniejących modeli matematycznych wymiany masy i gazów oraz stworzenie na ich podstawie jednego równania transferu dowolnej substancji podczas pożarów w kopalniach i w innych obiektach z uwzględnieniem rozszerzenia cieplnego gazów.
Wprowadzenie: Aby przeprowadzić ocenę zagrożenia pożarowego, należy znać czas trwania pożaru oraz czas, w jakim osiągnie on niebezpieczne wartości np. stężenia toksycznego gazu i zadymienia. Prawdziwy pożar, będący niekontrolowanym procesem spalania, jest złożonym i nie do końca poznanym procesem niestacjonarnym, który odbywa się w przestrzeni trójwymiarowej. W celu opisania tego procesu wykorzystywane są głównie: równania zasady zachowania i przemiany energii, równanie konwekcyjno-dyfuzyjnego transferu składników różnych gazów i równanie konwekcyjno-dyfuzyjnego transferu dymu.
Metody: W celu otrzymania rozwiązania równania transportu dowolnej substancji wykorzystano metodę liczbową różnic skończonych schematów jawnych i niejawnych z określonym ciężarem właściwym jednej z nich.
Wyniki: Rozpatrywano przepływ powietrza z prędkością mniejszą niż prędkość dźwięku, poniżej 10 m/s. Przy takich prędkościach, zgodnie z równaniem Bernoulliego, ciśnienie zmienia się nieznacznie w stosunku do ciśnienia atmosferycznego. Dlatego też równanie stanu z dostatecznym stopniem dokładności można zamienić na równanie dla normalnych warunków. Pozwoliło to przedstawić w postaci bezwymiarowej system równań zachowania i przemiany energii oraz konwekcyjno-dyfuzyjnego transferu składników różnych gazów i dymu w jednym uniwersalnym równaniu. Opracowano metodę liczbową rozwiązywania zagadnienia. Przedstawiony łączony schemat obliczeniowy – jawny i niejawny jest realizowany na sześciopunktowym szablonie „Miedwiedzica". Na konkretnych przykładach przedstawiono porównanie zaproponowanej metody liczbowej z analitycznymi krzywymi zmiany w czasie i w różnych odległościach funkcji wydzielenia ciepła i gazu w wentylowanym kanale.
Wnioski: Zaproponowano uniwersalne rozwiązanie w formie bezwymiarowej, które opisuje jednym równaniem system równań zachowania i przemiany energii, konwekcyjno-dyfuzyjny transfer składników różnych gazów i dymu. Przedstawiono schemat obliczeniowy „Miedwiedzica", który dzięki zastosowaniu metody liczbowej pozwala otrzymać wiarygodne dane o dynamice procesów wymiany masy i gazów w kanałach, korytarzach i kopalniach.

Słowa kluczowe: pożary, wymiana masy i ciepła, równania transferu, metoda liczbowa, rozwiązania analityczne, podobieństwo, rozszerzenie cieplne, wspólne podejście
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Введение

Пожары среди различных аварий занимают первое место по числу гибели людей. В этих условиях особое место отводится задачам пожаротушения и обеспечения безопасной эвакуации людей.

При оценке пожароопасности необходимо знать время продолжительности пожара и время достижения величины опасного фактора, такого например, как величины токсичного газа и задымленности.

Существующие результаты исследований в этом направлении и нормативные документы, включающее в себя это время, базируются либо на упрощённых интегральных методах теплогазообмена при пожаре, либо на сложных методах, использующих полевые (трёхмерные) модели [1-3].

Реальный пожар, как неконтролируемое горение, является сложным, до конца неизученным нестационарным процессом, протекающем в трёхмерном пространстве.

Для описания этого процесса используются, как основные, уравнение сохранения и превращения энергии [3]

$$\rho c_p\left(\frac{\partial T}{\partial \tau}+u\frac{\partial T}{\partial x}+\upsilon\frac{\partial T}{\partial y}+w\frac{\partial T}{\partial z}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_x\frac{\partial T}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_y\frac{\partial T}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda_z\frac{\partial T}{\partial z}\right)+q, \quad (1)$$

а также уравнение конвективно-диффузионного переноса компонентов различных газов

$$\rho\left(\frac{\partial C}{\partial \tau}+u\frac{\partial C}{\partial x}+\upsilon\frac{\partial C}{\partial y}+w\frac{\partial C}{\partial z}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho D_x\frac{\partial C}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho D_y\frac{\partial C}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho D_z\frac{\partial C}{\partial z}\right)+m \quad (2)$$

и уравнение конвективно-диффузионного переноса дыма

$$\rho\left(\frac{\partial D}{\partial \tau}+u\frac{\partial D}{\partial x}+\upsilon\frac{\partial D}{\partial y}+w\frac{\partial D}{\partial z}\right)=\frac{\partial}{\partial x}\left(\rho D_x\frac{\partial D}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\rho D_y\frac{\partial D}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\rho D_z\frac{\partial D}{\partial z}\right)+k \quad (3)$$

где T – абсолютная температура, К; ρ – плотность воздуха, кг/м^3; c_p – удельная теплоёмкость, Дж/(кг·К); u, υ, w – продольная, вертикальная и поперечная составляющие скорости движения воздуха, м/с; λ_x, λ_y, λ_z – коэффициенты теплопроводности в трёх направлениях, Вт/м^3; q – интенсивность источника или стока тепла, Вт/(кг·м^2);

C – концентрация какого-либо компонента газа, об. доли; D_x, D_y, D_z – коэффициенты диффузии какого-либо газа в трёх направлениях, м^2/с; m – интенсивность источ-

ника или стока данного газа, кг/(с·м³); D – плотность дыма, об. доли; k – интенсивность источника или стока дыма, кг/(с·м³).

В отличие от [3] в уравнении (3) учтена диффузия дыма, потому что при отсутствии конвективного движения дым обязательно будет рассеиваться.

Как известно, закон состояния газовой среды описывается уравнением [3]

$$P = \rho B T , \tag{4}$$

где P – давление воздуха или газа, Па; B – газовая постоянная, м²/(К·с²).

2. Результаты исследований

Будем рассматривать дозвуковые течения воздуха, где его скорости менее 10 м/с. При таких скоростях согласно уравнению Бернулли давление меняется незначительно по отношению к атмосферному давлению $P_0 = 10^5$ Па и можно принять $P \approx P_0$. Поэтому уравнение состояния газовой среды вместо (4) можно с достаточной степенью точности заменить уравнением вида

$$\rho T = \rho_0 T_0 , \tag{5}$$

где ρ_0 – плотность газовоздушной смеси при нормальных условиях, кг/м³; T_0 – абсолютная температура при нормальных условиях, К.

Это позволяет в безразмерном виде представить систему уравнений (1) – (3) одним универсальным уравнением вида

$$\frac{\partial F}{\partial \tau} = \overline{\mathrm{T}}\left(\sum_{i=1}^{3}\left(\frac{\partial}{\partial x}\left(A_i \frac{\partial F}{\partial x_i} - \tilde{u}_i F\right)\right) + G\right), \tag{6}$$

где F – универсальная функция, для первого уравнения равная $\overline{\mathrm{T}} = T/T_0$, для второго уравнения равная $\overline{\mathrm{C}} = C/C_0$, для третьего уравнения $\overline{\mathrm{D}} = D/D_0$: A_i – обобщённый коэффициент диффузии какой-либо субстанции, равный для первого уравнения $\lambda_i/(\rho_0 c_p)$, для второго и третьего уравнения $\rho D_i/\rho_0$; $\tilde{u} = \rho u/\rho_0$ – приведенная массовая скорость, м/с: $G = q/(\rho_0 c_p T_0)$ – для первого уравнения, $G = m/(\rho_0 C_0)$ – для второго уравнения, $G = k/(\rho_0 D_0)$ – третьего уравнения, 1/с: i – номер направления движения воздуха: C_0 – начальная или конечная концентрация какого-либо газа, об. доли: D_0 – конечная плотность дыма, об. доли.

Анализ полученного уравнения (6) показывает, что оно в точности с учётом (5) соответствует каждому уравнению системы (1) – (3). При этом множитель в правой части уравнения (6) говорит о том, какое огромное влияние на развитие процессов имеет повышение при пожаре абсолютной температуры, особенно в 4 – 5 раз, что ранее не учитывалось.

Уравнение (6) может быть решено только численным методом. С этой целью представим его в конечных разностях:

$$F_m^{n+1} = F_m^n + \Delta t \overline{T}_m^n \Big\{ \sum_{i=1}^{3} \Big[\frac{(\tilde{u}_i F)_{m-1}^n - (\tilde{u}_i F)_{m+1}^n}{2\Delta x_i} + (1-p) A_i \frac{(F_{m-1}^n - 2F_m^n + F_{m+1}^n)}{\Delta x_i^2} + p A_i \frac{F_{m-1}^{n+1} + F_{m+1}^{n+1}}{\Delta x_i^2} \Big] + G_m^n \Big\} / (1 + 2p/\Delta/_i^2), \tag{7}$$

где Δx_i – шаг по пространственной координате, м; m – номер узла по пространственной координате; n – номер узла по времени; p – удельный вес неявной схемы.

Представленная расчётная схема является неявной из-за наличия в правой части значений функции $F_{\mathrm{m+1}}^{\mathrm{n+1}}$ на искомом временном слое. Обычно такие задачи решаются методами прогонки в два этапа: предварительный поиск прогоночных коэффициентов с определением значений искомой функции. В связи с этим такой метод является громоздким и трудоёмким. Чтобы избежать этого, превратим неявную схему в явную, отыскав предварительно значения концентрации субстанции $F_{\mathrm{m+1}}^{\mathrm{n+1}}$ на искомом временном слое при $p = 0$. В этом случае уравнение (7) при $p = 0$ примет вид

$$F_{m+1}^{n+1} = F_{m+1}^n + \Delta t \overline{T}_m^n \Big\{ \sum_{i=1}^{3} \Big[\frac{(\tilde{u}_i F)_{m-1}^n - (\tilde{u}_i F)_{m+1}^n}{2\Delta x_i} + A_i \frac{(F_{m-1}^n - 2F_m^n + F_{m+1}^n)}{\Delta x_i^2} + G_m^n \Big\} \tag{8}$$

Находя предварительно по формуле (8) значение функции $F_{\mathrm{m+1}}^{\mathrm{n+1}}$ и подставляя её в правую часть формулы (7), находим на новом временном слое значение искомой функции $F_{\mathrm{m}}^{\mathrm{n+1}}$.

Таким образом, предлагаемая схема расчёта может быть реализована на шеститочечном шаблоне «Медведица» [4] (рис. 1).

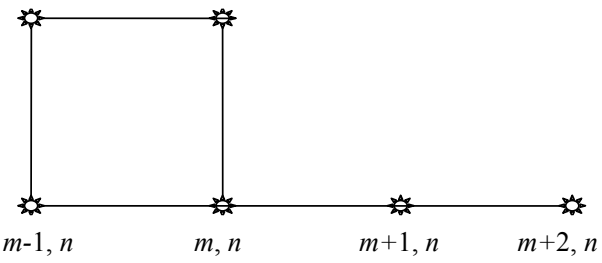


Рис. 1. Шеститочечный шаблон «Медведица»
Fig. 1. The "Medvedica" six-point scheme
Источник: Собственная разработка.
Soruce: Own elaboration.

В соответствии с предложенной модифицированной схемой с центральными разностями разработана программа расчёта на ЭВМ теплогазообменных процессов в каналах, туннелях и горных выработках при заранее известных скоростях воздуха.

В качестве примера рассмотрим перенос тепла или газа вдоль канала при возникновении в его начале источника тепла или газа. При этом принято, что тепломассобмен идёт в одном направлении ($i = 1$), при одной массовой скорости и отсутствии внутренних источников тепла или массы (G = 0).

При расчётах в качестве начальных и граничных условий использованы условия:

$$1)\ F(x, 0) = 0;\ \ 2)\ F(0, t) = 1;\ \ 3)\ \frac{\partial (L, t)}{\partial x} = 0 \tag{9}$$

где L – длина канала, м.

На рис. 2 представлены результаты расчёта по предложенной расчётной схеме заполнения канала при появлении в его начале постоянного источника тепла или газа.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.6

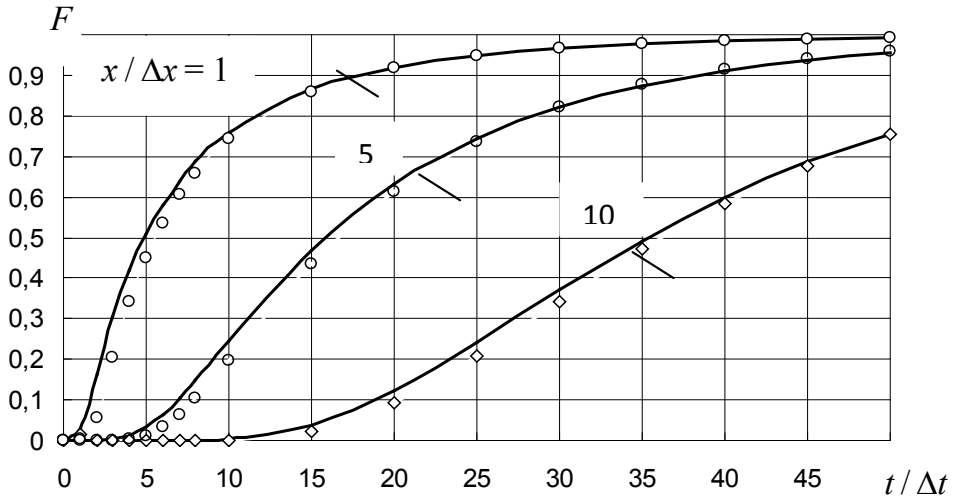


Рис. 2. Результаты сравнения численных расчётов (маркеры) с аналитическими кривыми изменения функции во времени на различных расстояниях от источника выделения тепла или газа в проветриваемом канале
Fig. 2. Results of the comparison of numerical calculations (markers) with analytical curves of functions versus time for different distances to the heat and gas release sources in the ventilated channel
Источник: Собственная разработка.
Soruce: Own elaboration.

Анализируя полученные данные, приходим к выводу, что предложенная расчётная схема правильно отражает процессы переноса. Так, например, газовая волна, двигаясь вдоль канала не стеной, а растекаясь за счёт диффузии, постепенно заполняет всё пространство.

Здесь же (рис. 2) для проверки точности предлагаемого численного метода расчёта приведена аналитическая кривая, полученная при расчёте по формуле (10) [4]:

$$F(x,t) = 0{,}5\{1 + \mathrm{erf}\left(\frac{ut - x}{2\sqrt{A_x t}}\right) + \exp\left(\frac{ux}{A_x}\right)[1 - \mathrm{erf}\left(\frac{ut + x}{2\sqrt{A_x t}}\right)]\}, \quad 10)$$

где erf– функция интеграла вероятности.

Результаты численного моделирования и расчётов по формуле (10) показали (рис. 2), что наилучшего приближения можно достичь, принимая схемные числа Пекле $Pe = A_x \Delta t/\Delta x^2 = 1/3$ и Куранта $Cu = u\Delta t/\Delta x = 0{,}5$, а удельный вес неявной схемы $p = 0{,}25$.

Как видно из результатов сравнения численных расчётов с точными данными, предлагаемая схема достоверно отражает процессы переноса газов вдоль канала.

Рассмотрим ещё один пример, имеющий реальное приложение при пожаре ($F = \overline{T}$). При интегральном подходе уравнение (6) в зоне горения можно представить в виде

$$\frac{d\overline{T}}{d\tau} = [(\tilde{u}/\Delta x + \overline{\alpha})(1 - \overline{T}) + \overline{q}]\overline{T}, \quad (11)$$

где $\overline{\alpha} = \frac{\alpha \Pi}{c_p \rho_0 S}$ – удельный коэффициент теплообмена со стенками выработки, 1/с;

$\overline{q} = \frac{q}{c_p \rho_0 T_0}$ – удельная интенсивность тепловыделения в зоне горения, 1/с;

α – коэффициент теплообмена смеси газов со стенками выработки, Вт/(м²К); П – периметр поперечного сечения канала, м; S – площадь поперечного сечения канала, м².

Полагая удельное тепловыделение в зоне горения постоянным на некотором промежутке времени, выделим стационарную часть из уравнения (11) и найдём предельную температуру в зоне горения

$$\overline{T}_n = 1 + \frac{\overline{q} l}{\tilde{u} + \overline{\alpha} l}, \quad (12)$$

где l – длина зоны горения, м.

Аналитическое решение уравнения (11), если принять, что в начале горения температура $T(0) = T_0$, имеет вид

$$\overline{T} = \frac{T_n}{1 + (\overline{T}_n - 1)\exp(-\overline{T}_n \overline{\tau})}. \quad (13)$$

Сравним полученное решение (13), с другим решением, если пренебречь расширением воздуха. В этом случае уравнение (11) примет вид

$$\frac{d\overline{T}}{d\tau} = (\tilde{u}/l + \overline{\alpha})(1 - \overline{T}) + \overline{q}. \quad (14)$$

Решение этого уравнения имеет вид

$$\overline{T} = \overline{T}_n - (\overline{T}_n - 1)\exp(-\overline{\tau}). \quad (15)$$

При остывании будет наблюдаться обратная картина: температура станет снижаться от T_n до T_0. Тогда решения (13) и (15), учитывающие и не учитывающие расширение газов при остывании можно представить соответственно в виде

$$\overline{T} = \frac{T_n}{\overline{T}_n - (\overline{T}_n - 1)\exp(-\overline{\tau})}; \overline{T} = 1 + (\overline{T}_n - 1)\exp(-\overline{\tau}). \quad (16)$$

На рис. 3 представлены результаты расчёта нагревания и остывания очага пожара по формулам (13), (15) и (16) при времени горения $\overline{\tau} = \overline{\tau}_1 = 3$ и при максимальной температуре $\overline{T}_n = 4$. Здесь же (рис. 2) приведена кривая (прерывистая линия), если учитывать расширение газов постоянным коэффициентом, как множителем перед параметром времени, равным

$$k = \frac{1 + \overline{T}_n}{2}. \quad (17)$$

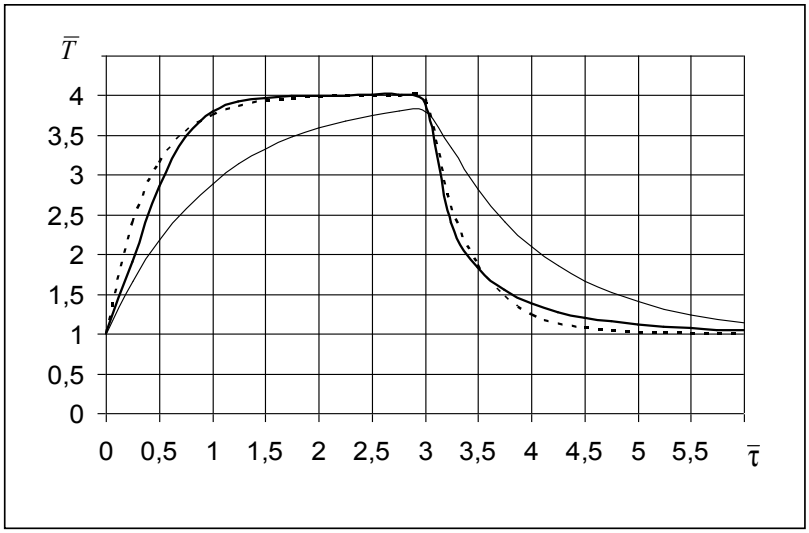


Рис. 3. Кривые нагревания и остывания очага пожара с учётом термического расширения (жирная линия) и без учёта расширения воздуха (тонкая линия)
Fig. 3. Heating and cooling curves of the fire source with the account of the thermal expansion (thick line) and without taking into account the air expansion (thin line)
Источник: Собственная разработка.
Soruce: Own elaboration.

Как показывают результаты расчёта, представленные на рисунке 3, если время представить в часах, то без учёта расширения газов увеличение в три раза температуры в очаге пожара произойдёт через 1 час, а с учётом расширения – через полчаса. Ещё большие расхождения наблюдаются при дальнейшем развитии пожара, что нельзя не учитывать.

Как видно на рисунке 3, учёт термического расширения газов приводит к быстрому нагреванию и к быстрому остыванию очага пожара, если не учитывать нагревшиеся стенки канала. Учёт нагревания стенок будет способствовать медленному остыванию потока воздуха и будет отражать термодинамические свойства окружающего массива.

3. Выводы

В статье предложено универсальное уравнение в безразмерном виде, описывающее одним уравнением систему уравнений сохранения и превращения энергии, конвективно-диффузионного переноса компонентов различных газов и дыма. Дана расчетная схема «Медведица», позволяющая получить численным методом достоверные данные о динамике процессов теплогазообмена в каналах, коридорах и горных выработках.

Аббревиатура

T	абсолютная температура	К
ρ	плотность воздуха	кг/м^3
c_p	удельная теплоёмкость	Дж/(кг·К)
u, v, w	продольная, вертикальная и поперечная составляющие скорости движения воздуха	м/с
λ_x, λ_y, λ_z	коэффициенты теплопроводности в трёх направлениях	Вт/м^3
q	интенсивность источника или стока тепла	Вт/(кг·м^2);
C	концентрация какого-либо компонента газа	об. доли
D_x, D_y, D_z	коэффициенты диффузии какого-либо газа в трёх направлениях	м^2/с
m	интенсивность источника или стока данного газа	кг/(с·м^3)
D	плотность дыма	об. доли
k	интенсивность источника или стока дыма	кг/(с·м^3)
P	давление воздуха или газа	Па
B	газовая постоянная	м^2/(К·с^2)
ρ_0	плотность газовоздушной смеси при нормальных условиях	кг/м^3
T_0	абсолютная температура при нормальных условиях	К
F	универсальная функция, для первого уравнения равная $\overline{O} = \dot{O}/\dot{O}_0$, для второго уравнения равная $\overline{N} = \dot{N}/\dot{N}_0$, для третьего уравнения $\overline{D} = D/D_0$	-

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.6

$A_{i;}$	обобщённый коэффициент диффузии какой-либо субстанции, равный для первого уравнения $\lambda_i/(\rho_0 c_p)$, для второго и третьего уравнения $\rho D_i/\rho_0$	-
$\tilde{u} = \rho u / \rho_0 .$	приведенная массовая скорость для уравнений:	м/с
	$G = q/(\rho_0 c_p T_0)$ – для первого уравнения, $G = m/(\rho_0 C_0)$ – для второго уравнения, $G = k/(\rho_0 D_0)$ – третьего уравнения	1/с
i	номер направления движения воздуха	-
C_0:	начальная или конечная концентрация какого-либо газа	об. доли
D_0	конечная плотность дыма	об. доли
Δx_i	шаг по пространственной координате	м
m	номер узла по пространственной координате	-
n	номер узла по времени	-
p	удельный вес неявной схемы	-
L	длина канала	м
l	длина зоны горения	м
erf	функция интеграла вероятности	-
$\overline{\alpha} = \frac{\alpha \Pi}{\tilde{n}_\partial \rho_{0.} S}$	удельный коэффициент теплообмена со стенками выработки	1/с
$\overline{q} = \frac{q}{c_\partial \rho_0 T_0}$	удельная интенсивность тепловыделения в зоне горения	1/с
α	коэффициент теплообмена смеси газов со стенками выработки	Вт/(м²К)
П	периметр поперечного сечения канала	м
S	площадь поперечного сечения канала	м²

Литература

1. Tsvetkov F.F., Grigoriev B.A., *Teplomassoobmen. Uchebnoye posobiye dlya vuzov,* MEI, Moskva 2005, 550.
2. Paskonov V.M., Polezhayev V.I., Chudov L.A., *Chislennoye modelirovaniye protsessov teplomassoobmena*, Nauka, Moskva 1984, 288.
3. Puzach S.V., *Metody rascheta teplomassoobmena pri pozhare v pomeshchenii i ikh* primeneniye pri reshenii prakticheskikh zadach pozharovzryvobezopasnosti, Akademiia GPS MChS Rossii, Moskva 2005, 336.
4. Zinchenko I.N., Kumpan I.E, Chislennoye modelirovaniye raspredeleniya tepla ili gaza po gornym vyrabotkam pri ikh vnezapnykh vydeleniyakh, "Gornospasateľnoye delo" 1993, 60-65.

* * *

Пашковский Петр Семенович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, первый заместитель директора НИИГД «Респиратор», основатель научной школы борьбы с пожарами на угольных шахтах.

Греков Святослав Павлович – доктор технических наук, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы, Начальник научно-исследовательского отдела борьбы с эндогенными пожарами в шахтах и на породных отвалах, специалист в области тепломассопереноса в горных выработках и пористых средах.

Зинченко Игорь Николаевич – кандидат технических наук, заместитель начальника научно-исследовательского отдела борьбы с эндогенными пожарами в шахтах и на породных отвалах, специалист в области тепломассопереноса при пожарах.

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.7

д-р техн. наук **Греков С.П. / Grekov S.P.**, Ph.D.[1]
проф. д-р техн. наук **Пашковский П.С. /** prof. **Pashkovskiy P.S.**[1]
инж. **Всякий А.А. / Vsyakiy A.A.**, Eng.[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 28.01.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 25.11.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Универсальный комплексный показатель эндогенной пожароопасности[2]

Universal Index of Endogenous Fire Hazards

Uniwersalny kompleksowy wskaźnik zagrożenia pożarem endogenicznym

АННОТАЦИЯ

Цель: Разработка универсального комплексного показателя эндогенной пожароопасности на основе математической модели самонагревания углей, лабораторных исследований их химической активности и анализа причин возникших эндогенных пожаров в шахтах за длительный период времени.
Методы: Основаны на теоретической модели кинетики гетерогенного окисления углей с переменной реакционной поверхностью, анализе более 200 мест и причин возникших эндогенных пожаров по 42 шахтопластам за 10-летний период.
Результаты: Выполнен анализ мест и причин возникновения эндогенных пожаров в угольных шахтах, проанализированы существующие критерии оценки склонности шахтопластов к самовозгоранию и показаны их недостатки. Предложено использовать математическую модель гетерогенного окисления углей с учетом испарения влаги и дросселирования метана для разработки комплексного показателя эндогенной пожароопасности. Показано, что существенное влияние на изменение температуры материала оказывают, кроме времени, константа реакции окисления, теплота дросселирования метана, газоносность пласта, константа скорости испарения влаги, теплота испарения влаги, значение критерия Bi и концентрация кислорода в угле. Концентрацию кислорода в угле определяют его природные характеристики – коэффициент внутренней диффузии, пористость, дробимость, фракционный состав, степень метаморфизма, а также концентрация кислорода на границе уголь – воздух. Получена зависимость для критерия пожароопасности с учетом выделения теплоты и теплоотдачи. Обоснованы параметры разделения шахт по группам пожароопасности на основе математической модели и данных о более 200 происшедших авариях. Даны зависимости для определения инкубационного периода самовозгорания, критического размера угольного скопления, порогового значения критерия оценки склонности углей к самовозгоранию.
Практическая значимость: Полученные зависимости рекомендуются для опытно-промышленного использования при определении эндогенной пожароопасности угольных пластов.
Выводы: Разработан новый комплексный показатель эндогенной пожароопасности, позволяющий по данным анализа проб угля в лабораторных условиях находить все необходимые его характеристики: критические размеры пожароопасного скопления, пороговые значения критерия оценки склонности к самовозгоранию, инкубационный период, группу пожароопасности.

Ключевые слова: самовозгорание, критическая температура, критическая толщина скопления, инкубационный период, группа эндогенной пожароопасности
Вид статьи: предварительный отчет

ABSTRACT

Aim: The purpose of this study is to develop a universal hazard indicator associated with spontaneous fires. Development of the proposed indicator is based on mathematical techniques and aligned to laboratory investigations of chemical activity and analysis of causes for the self-heating of coal and ultimately fires in coal mines, which have taken place over a period of many years.
Methods: The study made use of the theoretical kinetic model for heterogeneous oxidation of coal with variable reactionary surfaces, examined more than 200 locations and analysed causes of spontaneous fires, which occurred in 42 coal seams during a ten-year period.
Results: An analysis of locations and causes of spontaneous fires in coal mines was accompanied by a study of currently applied evaluation criteria for coal seam propensity to spontaneous combustion and identified limitations associated with such evaluations. The authors proposed the use of a mathematical model describing heterogeneous oxidation of coal exposed to the evaporation of moisture and supply restriction of

[1] Научно-исследовательский институт горноспасательного дела и пожарной безопасности «Респиратор», Донецк / The Respirator Scientific Research Institute of Mine-Work and Fire Safety, Donetsk; niigd@mail.ru;

[2] Процентоне соотношение участия в подготовке статьи / Percentage contribution: Grekov S.P. – 40%, Pashkovskiy P.S. – 35%, Vsyakiy A.A. – 25%; Эту статью наградил Редакционный Совет / The article was recognised by the Editorial Committee;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.7

methane to determine a complex indicator of a fire hazard. It was revealed that a significant influence on temperature change in materials, apart from time, is associated with oxidation constant, methane heat suppression, coal seam gas content, moisture loss rate constant, evaporation heat rate, value of the criterion Bi and oxygen concentration in coal. The oxygen content of coal is determined by its natural properties: oxygen coefficient of internal diffusion, porosity, brittleness, fractional composition, degree of metamorphism as well as concentration of oxygen on the coal surface. A relationship was identified for the fire hazard indicator with heat release and heat transfer. Additionally, the study confirmed parameters used to differentiate coal mines according to fire hazard groups with the use of mathematical models and more than 200 fire incident sources of data. Finally, the study revealed necessary influences, which determine the incubation period for spontaneous combustion, critical size of accumulated coal seams and critical threshold value for predicting the likelihood of self ignition of coal.
Practical value: Identified dependencies are recommended for use in the industry to recognise fire hazard levels associated with spontaneous combustion in coal deposits.
Conclusions: Developed a new complex indicator for endogenous fire hazards and, based on data from analysed coal samples in laboratory conditions, facilitated the definition of necessary coal characteristics: critical size of coal deposits clusters/dangerous accumulation of coal, threshold values for the estimation criterion of propensity for spontaneous combustion, incubation period and fire hazard group.

Keywords: spontaneous combustion, critical temperature, critical thickness of coal seams, incubation period, spontaneous combustion fire hazard group
Type of article: short scientific report

ABSTRAKT

Cel: Opracowanie uniwersalnego i kompleksowego wskaźnika zagrożenia pożarem endogenicznym na podstawie modelu matematycznego samonagrzewania węgla, badań laboratoryjnych jego aktywności chemicznej oraz analizy przyczyn rzeczywistych pożarów endogenicznych w kopalniach, które miały miejsce na przestrzeni wielu lat.
Metody: Metody zostały oparte na modelu teoretycznym kinetyki heterogenicznego utlenienia węgli ze zmienną powierzchnią reakcyjną, analizie ponad 200 miejsc i przyczyn rzeczywistych pożarów endogenicznych 42 pokładów złoża węgla w okresie 10 lat.
Wyniki: Przeprowadzono analizę miejsc i przyczyn postawania pożarów endogenicznych w kopalniach węglowych, przeanalizowano obecnie stosowane kryteria oceny skłonności złóż do samozapłonu i przedstawiono ich wady. Zaproponowano wykorzystanie modelu matematycznego heterogenicznej reakcji utleniania węgla z uwzględnieniem wyparowywania wilgoci i dławienia metanu w celu opracowania kompleksowego wskaźnika zagrożenia pożarem endogenicznym. Wskazano, że znaczny wpływ na zmianę temperatury materiału, poza czasem, mają konstanta reakcji utleniania, ciepło dławienia metanu, zawartość gazów w złożu, konstanta prędkości wyparowania wilgoci, ciepło parowania, wartość kryterium Bi i stężenie tlenu w węglu. Na wartość stężenia tlenu w węglu mają wpływ jego naturalne właściwości – współczynnik wewnętrznej dyfuzji, porowatość, kruchość, skład frakcyjny, stopień metamorfizmu, a także stężenie tlenu na granicy węgiel-powietrze. Otrzymano zależność dla kryterium zagrożenia pożarowego z uwzględnieniem wydzielenia i oddawania ciepła. Uzasadniono parametry dla podziału kopalni na grupy zagrożenia pożarowego na podstawie modelu matematycznego i danych z ponad 200 rzeczywistych zdarzeń. Przedstawiono zależności potrzebne do określenia okresu inkubacyjnego samozapłonu, krytycznej wielkości pokładów węgla, granicznej wartości kryterium oceny skłonności węgla do samozapłonu.
Znaczenie praktyczne: Uzyskane zależności są rekomendowane do wykorzystania w przemyśle do określania stopnia zagrożenia pożarem endogenicznym złóż węgla.
Wnioski: Opracowano nowy kompleksowy wskaźnik zagrożenia pożarem endogenicznym, który na podstawie danych z analizy próbek węgla w warunkach laboratoryjnych, pozwala określić wszystkie charakterystyki węgla: krytyczną wielkość zagrożenia pożarem skupiska złoża węgla, progową wartość kryterium oceny podatności na samozapłon, okres inkubacyjny i grupę zagrożenia pożarowego.

Słowa kluczowe: samozapłon, temperatura krytyczna, krytyczna grubość złóż, okres inkubacyjny, grupa zagrożenia pożarem endogenicznym
Typ artykułu: doniesienie wstępne

1. Введение

Пожароопасность скопления отбитого от массива угля в шахтах определяется его размером, физико-химическими свойствами и условиями в местах его скопления. На достоверность прогноза пожароопасности указывает обоснованный её показатель, являющийся критерием оценки опасности самовозгорания углей в шахте. В качестве таких показателей в настоящее время используют потери угля, размер угольных скоплений, отношение теплоты, израсходованной на нагревание угля, к общему ее объему, выделившемуся при окислении, и другие параметры.

Чаще всего авторы исследовали отдельные параметры пожароопасности. Так, в работе [1] получена корреляционная зависимость между количеством эндогенных пожаров и критической температурой самовозгорания углей. В работе [2] найдена зависимость количества эндогенных пожаров от скорости тепловыделения из угля. В статье [3] исследована зависимость количества пожаров от энергии активации угля. Исследовались также влияние на пожароопасность химической активности углей, фракционного состава, влажности, дробимости, удельной реакционной поверхности и пр. [4]. Проведенные исследования позволили получить зависимости для определения группы пожарной опасности угольных пластов [5], обосновать критерии оценки склонности углей к самовозгоранию и предложить меры по предупреждению эндогенных пожаров в угольных шахтах [6].

При выполнении исследований условий и причин самовозгорания углей использовали различные математические модели, позволяющие установить важные критерии течения процесса нагревания угля при некоторых типичных условиях, возникающих в шахтах.

Одними из первых работ, описывающими механизмы самовозгорания угля, были работы акад. А.А. Скочинского и проф. В.С. Веселовского, в которых приведены экспериментальные исследования процессов адсорбции углями кислорода, определен тепловой баланс при их самонагревании, даны количественные оценки факторов самонагревания и предложен основной показатель склонности угля к самовозгоранию – скорость его окисления, положенная в основу сорбционного метода Института горного дела им. А.А. Скочинского.

В 90-х годах XX в. НИИГД предложен метод определения склонности углей к самовозгоранию путем нахождения некоторого показателя, комплексно учитывающего физико-химические и механические свойства углей.

Комплексный параметр получен на основании предложенной математической модели самонагревания угля в виде теплового баланса для некоторого его скопления [1]. В математической модели учтены реакционная поверхность угля, теплота реакции окисления, константа скорости реакции, зависящая от температуры, энергия активации, концентрация кислорода, время, критическая температура самовозгорания.

Критерий оценки склонности углей к самовозгоранию – это время, и назван он пороговым значением $C_п$, с. Выполнены расчеты значений $C_п$ по 34 шахтам. Сопоставление полученных значений $C_п$ с количеством пожаров показало, что между ними существует тесная связь. Увеличение значения $C_п$ соответствует уменьшению пожароопасности. Недостатком предложенной математической модели – в том, что не учтена теплоотдача от скопления угля в окружающую среду, это дает несколько заниженные результаты.

В работе [7] предложен другой подход к определению динамики температуры самовозгорающегося угля и времени достижения им критического значения на основе математического описания процесса сорбции кислорода углем и его нагревания. Совместное решение этих уравнений и последующее моделирование процесса позволило выявить параметры, незначительно и существенно влияющие на самонагревание.

Было установлено, что концентрация углерода в угле a_0^* мало изменяется по мере его окисления. Адсорбционные процессы протекают более интенсивно, чем тепловые, в силу чего можно принять, что концентрация кислорода в твердой фазе $a\ (T) = a_0 = \gamma c_{ст}$ (где γ – константа Генри; $c_{ст}$ – концентрация O_2 в порах угля в газовой фазе на уровне насыщения, равная концентрации в омывающем уголь воздухе, моль/м^3).

Выполненные исследования позволили разработать и внедрить в 2000 году руководящий документ «Склонность к самовозгоранию угля, шахтных пород и отходов углеобогащения. Методика определения».

За прошедшее время в НИИГД выполнены работы по изучению сорбционных процессов в газонасыщенных угольных скоплениях, условий образования пожароопасных угольных скоплений при ведении горных работ и другие, позволившие предложить комплексный показатель пожароопасности, учитывающий новые данные о самовозгорании углей.

Целью работы является создание универсального комплексного показателя эндогенной пожароопасности на основе математической модели самонагревания угля, лабораторных исследований его химической активности и анализа причин возникших эндогенных пожаров в шахтах за длительный период времени, позволяющего найти группу пожароопасности, минимальный размер скопления угля и инкубационный период с учетом его влажности и дросселирующего эффекта охлаждения за счет выделения метана.

2. Теоретические и экспериментальные исследования

Используем предложенную в работе [8] на основании теоретических исследований [9] математическую модель самовозгорания органических материалов за счет химических реакций окисления в виде

$$T = T_0\left\{1 + \Gamma_т \sum_{k=1}^{\infty} B_k \frac{1 - \exp\left[-\left(\mu_k^2 - \Gamma_т\right)\cdot F_0\right]}{\mu_k^2 - \Gamma_т}\right\}, \quad (1)$$

где T_0, T – начальная и текущая температуры угля, К;

$\Gamma_т$ – комплексный критерий генерации и отвода теплоты, определяемый зависимостью

$$\Gamma_т = \Gamma_{т1} - \Gamma_{т2} - \Gamma_{т3}, \quad (2)$$

$$\Gamma_{т1} = \frac{\xi a_c^* a_{o_2} qk}{\rho c_\upsilon T_0}\frac{m^2}{a};\ \Gamma_{т2} = \frac{q_{др} J_м}{\rho c_\upsilon T_0}\frac{m^2}{a};\ \Gamma_{т3} = \frac{a_c^* a_в k_в w}{\rho c_\upsilon T_0}\frac{m^2}{a}; \quad (3)$$

где

ξ – доля реакционной поверхности, принимающей участие в окислении угля;

a_C^* – концентрация углерода в угле, моль/м^3;

a_{o_2} – концентрация кислорода в угле, моль/м^3;

q – теплота реакции окисления, Дж/моль;

k – константа скорости окисления угля, м^3/(с·моль);

m – толщина скопления угля, м;

ρ – плотность угля, кг/м^3;

c_v – удельная теплоемкость угля, Дж/(кг·К);

a – коэффициент температуропроводности угля, м^2/с;

$q_{др}$ – теплота дросселирования метана, Дж/моль;

$J_м$ – скорость выделения метана, моль/ (м^3·с), определяемая зависимостью

$$J_м = \frac{G}{t_п}, \quad (4)$$

G – газоносность пласта, моль/м^3;

$t_п$ – пороговое время самовозгорания угля, равное $3\cdot10^6$ с;

$k_в$ – константа скорости испарения влаги, м^3/ (с·моль);

$q_в$ – теплота испарения влаги, Дж/моль;

w – концентрация влаги в угле, моль/м^3;

F_0 – критерий Фурье, определяемый по формуле

$$F_0 = at/m^2; \quad (5)$$

t – время, с;

$\mu_к^2$ – корни уравнения [9];

$$tg\mu = -\frac{1}{Bi - 1}\mu; \quad (6)$$

Bi – критерий Bi = αm/λ;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/ (м^2·К);

λ – коэффициент теплопроводности угля, Вт/ (м·К);

$B_к$ – коэффициенты уравнения [10].

Из анализа выражений (1) – (5) следует, что существенное влияние на изменение температуры материала T оказывают, кроме времени t, константа реакции окисления k, теплота дросселирования метана $q_{др}$, газоносность пласта G, константа скорости испарения влаги $k_в$, теплота испарения влаги $q_в$, критерий Bi и концентрация кислорода в угле a_{o_2}. Концентрацию кислорода в угле определяют его природные характеристики – коэффициент внутренней диффузии D, пористость, дробимость, фракционный состав, степень метаморфизма, а также концентрация кислорода на границе уголь – воздух $C_{ст}$.

Влияние химической активности угля k на процесс его самонагревания подробно изучено ранее [10]. Значения k изменяются для различных углей не более чем на один порядок. Теплота дросселирования метана $q_{др}$ изучалась в работе [11], константа скорости испарения влаги $k_в$ в работе [12].

Как показали исследования [8], с достаточной для практических целей точностью, возможно, ограничить-

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.7

ся одним членом суммы в уравнении (1) и одним корнем μ. Величины Bi, как правило, менее 1, что позволяет использовать связь μ^2=3Bi [9].

Для случая Bi = 0 выражение (1) примет вид

$$\ln\frac{T}{T_0} = \Gamma_т F_0. \qquad (7)$$

Подставляя в (7) выражения (3) и (5), получим

$$\ln\frac{T}{T_0} = \underbrace{\left(\frac{\xi a_c^* a_{o_2} qk}{\rho c_\upsilon T_0} - \frac{q_{др} J_м}{\rho \tilde{n}_\upsilon T_0} - \frac{a_c^* q_в k_в w}{\rho c_\upsilon T_0}\right)}_{A} \underbrace{\frac{m^2}{a}\frac{a}{m^2}t}_{\Gamma_т F_0}, \qquad (8)$$

откуда

$$t = \ln\frac{T}{T_0}\frac{\rho c_\upsilon T_0}{a_c^*\underbrace{\left(a_{o_2} qk - q_{др} J_м / a_c^* - q_в k_в w\right)}_{B=\frac{1}{A}}}. \qquad (9)$$

Из анализа (8) следует, что, так как величины m^2 и a, стоящие в числителе и знаменатели этого выражения, сокращаются, то в случае отсутствия теплообмена изменение температуры с изменением времени не зависит от размеров скопления самоокисляющегося органического материала и являются функцией только комплексного параметра А.

Для случая наличия теплообмена между скоплением самовозгорающегося материала и окружающей средой сделаем некоторые математические преобразования в уравнении (1), полагая μ^2=3Bi.

$$\frac{T}{T_0} = 1 + \frac{1 - \left[\exp\left(\Gamma_т F_0\right)\right]^{-b}}{b}, \qquad (10)$$

$$\text{где } b = \frac{3\text{Bi}}{\Gamma_т} - 1, \qquad (11)$$

откуда

$$\Gamma_т F_0\big|_{\text{Bi}\neq 0} = -\frac{\ln\left[-\left(\frac{T}{T_0} - 1 - \frac{1}{b}\right)b\right]}{b}. \qquad (12)$$

Используя явное выражение для $\Gamma_т F_0$ и разрешая уравнение (10) относительно t, получим:

$$t\big|_{\text{Bi}\neq 0} = \underbrace{-\frac{\ln[-(T/T_0 - 1 - 1/b)b]}{b}}_{\bar{t}} \underbrace{\frac{\rho c_\upsilon T_0}{a_c^*\left(\xi a_{o_2} qk - q_{др} J_м / a_c^* - q_в k_в w\right)}}_{B}, \qquad (13)$$

где $T = T_{кр}$ – критическая температура самовозгорания.

Из сравнения (13) и (9) нетрудно видеть, что при b = 1 (когда Bi = 0) выражение (13) переходит в (9).

Доля реакционной поверхности угля, вступающей в реакцию окисления ξ, находится согласно зависимости, приведенной в [8].

$$\xi = -7{,}24\cdot 10^{-6}\left(V^г\right)^2 + 2{,}99\cdot 10^{-4} V^г + 3{,}76\cdot 10^{-3}, \qquad (14)$$

где $V^т$ – доля летучих горючих в угле,%.

Из сказанного следует, что параметр $\bar{t}$ является комплексным и полностью определяет инкубационный период t (с точностью до множителя B) при наличии теплообмена скопления материала с окружающей средой.

Выражение (13) при B = const определяется величиной $\bar{t} = f\left(\frac{T_{кр}}{T_0}, b\right)$.

Функция $\bar{t}$ имеет четыре характерные точки, которые в дальнейшем будут использованы

при определении группы пожароопасности шахтопластов:

- $\bar{t} = \ln\frac{T_{кр}}{T_0}$ при $b = -1$, когда генерация теплоты значительно превышает теплоотвод, т.е. 3Bi/$\Gamma_т \to 0$;
- $\bar{t} = \frac{T_{кр}}{T_0}$ при $b = 0$, когда генерация теплоты равна теплопотерям, т.е. 3Bi = $\Gamma_т$;
- $\bar{t} = -\ln\frac{T_{кр}}{T_0}\left(2 - \frac{T_{кр}}{T_0}\right)$ при $b = 1$, когда теплопотери в 2 раза превышают генерацию теплоты;

$$\bar{t} \to \infty \text{ при } b = 1/\left(\frac{T_{кр}}{T_0} - 1\right), \text{т.е.} \frac{3\text{Bi}}{\Gamma_т} - 1 = 1/\left(\frac{T_{кр}}{T_0} - 1\right). \qquad (15)$$

Для наглядности и с целью ее графического использования при определении инкубационного периода самовозгорания угля зависимости $\bar{t}$ при различных $T_{кр}/T_0$ и b представлены на рис. 1.

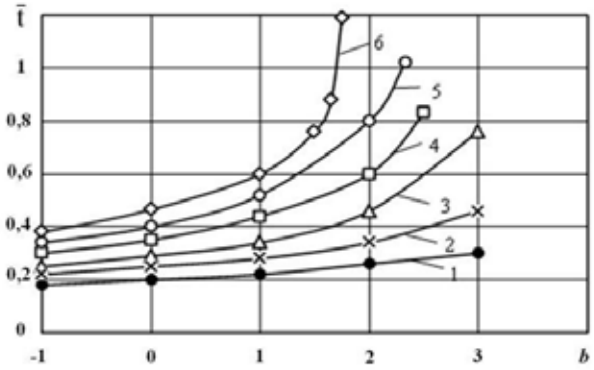


Рис. 1. Зависимости комплексного показателя пожароопасности $\bar{t}$ от b при различных $\frac{T_{кр}}{T_0}$

1 –●- 1,1; 2 – x - 1,25; 3 – Δ - 1,3; 4 – □ -1,35; 5 – ○ -1,4; 6 – ◊ - 1,45

Fig. 1. Dependences of the complex fire danger index $\bar{t}$ versus b at various $\frac{T_{кр}}{T_0}$

1 –●- 1,1; 2 – x - 1,25; 3 – Δ - 1,3; 4 – □ -1,35; 5 – ○ -1,4; 6 – ◊ - 1,45

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

С целью выяснения влияния эффекта дросселирования метана из угля и его влажности на инкубационный период самовозгорания t было выполнено моделирование функции t без наличия и с использованием параметров $q_{др}$ и w для нескольких шахт, представленное в таблице 1.

Из данных табл. 1 следует, что при найденных в лабораторных условиях характеристиках угля $T_{кр}$ и отношениях притока и уноса теплоты комплексный учет этих параметров критерием $\bar{t}$ показывает не столь суще-

Таблица 1. Сравнение инкубационного периода самовозгорания угля, рассчитанного с учетом и без учета влияния дросселирующего эффекта его охлаждения и влажности
Table 1. Comparison of the incubation period of spontaneous combustion of coal calculated with the account and without the account of throttling effect of its cooling and humidity

Шахта, символ пласта (Mine, symbol of the seam)	**Газоносность пласта, (Gas content of the seam) *G*, $\frac{\text{моль}}{\text{м}^3}$ $\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}\right)$**	**Влажность пласта (Humidity of the seam) *W*, $\frac{\text{моль}}{\text{м}^3}$ $\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}\right)$**	**Комплексный критерий (Complex criterion) $\bar{t}$**		**Инкубационный период $t_{инк}$, сут (Incubation period $t_{инк}$, days)**	
			С учётом теплов. (Taking into account the heat emission) *q*	**С учётом (With the account) *q*, $q_{др}$, *w***	**С учётом теплов. (Taking into account the heat emission) *q***	**С учётом (Taking into account) *q*, $q_{др}$, *w***
«Северная», l_3/“Severnaya”	540	974,7	0,20	0,2	13	14
«Северная»,m_3/“Severnaya”	1134	1928	0,42	0,47	21	27
«Комсомолец», $l_{3/}$“Komsomolets”	1084	1155	0,22	0,22	12	13
Им. А.Ф. Засядько, $m_{3/}$ A.F. Zasyadko mine	1188	1083	0,33	0,36	25	28
Им. Г.Г. Капустина, m_3 / G.G. Kapustin mine	918	1516,2	0,11	0,12	13	16
«Александровская», l_1/ “Aleksandrovskaya”	540	2310	0,29	0,30	17	19
«Булавинская», l_1 / “Bulavinskaya”	810	2238	0,31	0,36	23	26

Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

ственное их влияние, направленное, как и предполагалось, в сторону увеличения $\bar{t}$ и инкубационного периода самовозгорания. Это, однако, дает возможность более верно рассчитать инкубационный период самовозгорания, что существенно для практического пользования.

Известно, что самовозгорание угля – это процесс, связанный с условиями накопления и рассеивания теплоты в его скоплении.

Анализ мест и причин эндогенных пожаров, выполненный в работе [1], показывает, что наибольшее количество самовозгораний угля связано со слоевыми скоплениями, образующимися в результате обрушения угольных пачек и пропластков. Поэтому первой задачей при определении пожароопасности угольного скопления является определение его критического (наименьшего) размера, при котором самовозгорание еще возможно.

Такие исследования были начаты еще в 50 – х годах прошлого столетия В.М. Маевской, затем в 70 – х проводились в МакНИИ [13] и позднее в 80-х – 90-х во ВНИИГД [1]. Во всех работах нахождение критического размера пожароопасного скопления угля основано на решении дифференциальных уравнений теплового баланса стационарного процесса теплопередачи и получены выражения в явном виде. Критические значения скоплений угля в них даны как функции, зависящие от критической температуры самовозгорания, теплопроводности угля, скорости окисления, концентрации кислорода.

Принятая автором [1] модель позволила найти критические размеры скопления угля по 42 шахтопластам за 10-летний период, и подтвердилась ее верность. Тем не менее модель не учитывает теплоотдачу, что ограничивает её использование.

Из анализа функции $\bar{t}$ (формула 13), как было сказано выше, следует, что ее критическое значение наступает при $\frac{3\text{Bi}}{\Gamma_т} - 1 = \frac{T_0}{T_{кр} - T_0}$.

Поэтому используем из (8) выражения для $\Gamma_т = A\frac{m^2}{a}$ и зависимость $\text{Bi} = \frac{\alpha}{\lambda}m$ из (6) и найдем формулу для m с учетом (13) в виде

$$m = \frac{T_{кр} - T_0}{T_{кр}} \frac{3\alpha a}{\lambda} \frac{\rho c_\upsilon T_0}{a_c^*\left(\xi a_{o_2} qk - q_{др} J_м / a_c^* - q_в k_в w\right)}. \quad (16)$$

Полученная зависимость позволяет по данным о теплофизических свойствах самовозгорающегося материала (угля и пр.) и коэффициентам теплоотдачи найти минимальный размер его скопления, подтвержденного самовозгоранию.

Для выяснения взаимосвязи комплексного критерия пожароопасности $\bar{t}$ с размером угольного скопления, количеством эндогенных пожаров и инкубационным периодом самовозгорания, а также определения группы пожароопасности обратимся к данным [1] по более чем 200 проанализированным случаям самовозгорания углей с различными видами слоевых скоплений. Эти скопления были обусловлены наличием в непосредственной близости от разрабатываемого пласта в кровле или почве пропластков угля или углистого сланца, попадающих при выемке пласта в зону обрушения пород; выемкой пласта не на полную мощность по техническим соображениям; геологическими нарушениями пласта в виде утолщений, при которых его выемка на полную мощность практически невозможна; нарушениями в виде надвигов, сбросов, проходимых очистными работами. В выработанных пространствах пластов крутого падения, имеющих в почве слабые, неустойчивые, склонные к сползанию породы, происходит обрушение целиков угля, а также завалы лав. При этом выемка обрушенного угля была практически невозможна.

Исследования слоевых скоплений углей заключались в проведении комплекса шахтных и лабораторных экспериментов, что позволило рассчитать значение критиче-

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.7

ской толщины угольных скоплений.

Результаты определения критических размеров угольных скоплений на ряде шахт Донбасса приведены в таблице 2.

Анализ данных, приведенных в таблице 2, показывает, что эндогенные пожары происходят, как правило, в слоевых скоплениях углей, размером выше критического. На 42 обследованных шахтопластах за 10 лет произошло 272 эндогенных пожара. При этом 236 пожаров, т.е. 96%, произошло на тех 36 шахтопластах, где фактический раз-

Таблица 2. Параметры угольных скоплений, их критические размеры, инкубационный период самовозгорания и комплексный показатель пожароопасности
Table 2. Parameters of coal accumulations, their critical dimensions, incubation period of the spontaneous combustion and complex endogenous fire hazard index

Шахта (Mine)	Символ пласта (Symbol of the seam)	Газоносность пласта, (Gas content of the seam) G, $\frac{\text{моль}}{\text{м}^3}$ $\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}\right)$	Влажность пласта, (Humidity of the seam) W, $\frac{\text{моль}}{\text{м}^3}$ $\left(\frac{\text{mol}}{\text{m}^3}\right)$	Толщ. скопл. угля, (Thickness of coal accumulation) m, м		Компл. парам. (Comp-lex parame-ter) $\bar{t}$	Инкуб. период $t_{инк}$ сут (Incuba-tion period), ($t_{инк}$ days)	Колич. эндо-генных пожаров за 10-летний период (Number of endoge-nous fires for the 10-year period), N	Группа пожароопасности (Fire hazard group)
				Фактическая (Factual)	Критическая (Critical)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
«Северная» (“Severnaya”)	l_3	540	975	0.65	0.11	0.19	14	3	I
«Комсомолец» (“Komsomolets”)	l_3	1026	1155	0.95	0.10	0.22	13	10	I
Им. А.Ф. Засядько (A.F. Zasyadko mine)	m_3	1188	1083	0.3	0.16	0.33	28	3	III
Им. Г.Г. Капустина (G.G. Kapustin mine)	m_3	918	1516	0.35	0.12	0.11	16	29	I
«Александровская» (“Aleksandrovskaya”)	l_1	540	2310	0.4	0.13	0.29	19	3	II
«Булавинская» (“Bulavinskaya”)	l_1	810	2238	0.25	0.15	0.32	26	5	III
Им. В.И. Ленина (V.I. Lenin mine)	l_4	1161	1227	0.4	0.17	0.29	26	1	II
	l_3	1134	1516	0.8	0.16	0.20	21	8	I
	l_2^1	1080	1733	0.4	0.21	0.32	33	5	III
	k_4^1	972	939	0.3	0.17	0.33	30	2	III
Им. Ю.А. Гагарина (Yu.A. Gagarin mine)	m_2	432	3538	0.6	0.22	0.27	30	1	II
«Комсомолец Донбасса» (”Komsomolets Donbassa”)	l_3	1620	1516	0.95	0.22	0.25	29	10	II
	l_4	1242	1805	0.6	0.11	0.22	15	15	I
Им. М.И. Калинина (M.I. Kalinin mine)	l_5	1080	2094	0.8	0.17	0.24	23	4	II
	k_7	1242	866	0.4	0.17	0.29	25	1	II
	k_7	1242	866	0.4	0.13	0.22	18	12	I
Им. К.А. Румянцева (K.A. Rumyantsev mine)	l_8	702	2816	0.5	0.17	0.28	25	1	II
	l_5	702	2238	0.55	0.18	0.27	25	2	II
	l_3	702	1877	0.6	0.19	0.27	26	5	II
«Александр-Запад» (“Aleksandr-Zapad”)	l_3	1026	1300	0.5	0.07	0.17	9	15	I
«Торецкая» (“Toretskaya”)	$k_2^н$	324	2960	0.3	0.20	0.40	36	1	III
Им. XXV съезда КПСС (The XXVth Congress of the Communist Party of the Soviet Union mine)	k22	918	1300	0.5	0.20	0.28	30	2	II
Им. Ильича (Ilyitch mine)	l21	378	967	0.3	0.16	0.32	27	1	III
«Вергилевская» (“Vergilevskaya”)	l4	621	1805	0.3	0.10	0.29	15	1	II
Им. И.В. Чеснокова (I.V. Chesnokov mine)	l8	459	1661	0.45	0.18	0.28	28	3	II
«Бутовка-Донецкая» (“Butovka-Donetskaya”)	n1	594	4260	0.4	0.14	0.26	20	2	II

Им. А.Ф. Засядько (A.F. Zasyadko mine)	m3	1215	1155	0.35	0.15	0.29	22	3	II
	l1	864	1444	0.5	0.17	0.27	25	4	II
«Красногвардейская» (“Krasnogvardeyskaya”)	l1	810	1300	0.4	0.17	0.28	25	13	II
«Святителя Василия Великого» (“Basil the Great prelate”)	l7	421,1	9314	0.4	0.14	0.15	17	14	I
«Кураховская» (“Kurakhovskaya”)	k8	594	7220	0.3	0.08	0.15	10	7	I
«Новодруженская» (“Novodruzhenskaya”)	kH8	486	8592	0.29	0.08	0.15	10	15	I
«Кременная» (“Kremennaya”)	kH8	594	6715	0.35	0.13	0.19	17	8	I
	l11	675	8447	0.3	0.15	0.30	23	2	III
«Никанор-Новая» (“Nikanor-Novaya”)	l4	648	505	0.3	0.08	0.21	11	2	I
Им. Артема (Artyem mine)	l12	810	1588	0.35	0.09	0.21	13	17	I
«Углегорская» (“Uglegorskaya”)	l1	675	1805	0.35	0.07	0.19	9	16	I
«Булавинская» (“Bulavinskaya”)	l1	810	2455	0.35	0.08	0.23	11	5	II
Им. К. Маркса (K.Marx mine)	kH4	1080	2166	0.4	0.12	0.27	17	1	II
«Юнком» („Yunkom“)	k8	1134	1300	0.5	0.10	0.23	13	1	II
«Северная» (“Severnaya”)	l3	756	3682	0.65	0.14	0.20	18	3	I
«Александровская» (“Aleksandrovskaya”)	l1	540	2310	0.4	0.06	0.17	8	16	I

Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

мер угольных скоплений превышает критический. Это свидетельствует о достоверности результатов, полученных при расчетах критических размеров слоевых скоплений углей.

Взаимосвязь количества происшедших пожаров N с комплексным показателем пожароопасности $\bar{t}$ по всем анализированным случаям представлена на рис. 2.

Из представленных данных следует, что имеется определенная связь количества пожаров от $\bar{t}$, причем с увеличением $\bar{t}$ оно снижается по зависимости

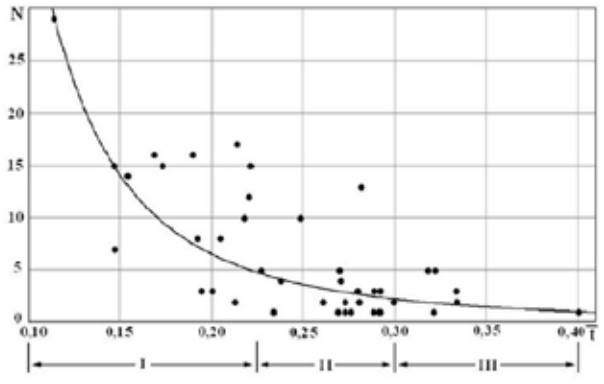


Рис. 2. Зависимость количества пожаров от комплексного показателя пожароопасности и группы пожароопасности шахтопластов (участков)
Fig. 2. Dependence between the number of fires and the complex fire hazard index and fire hazard group of the seam
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

$$N = 0{,}09\bar{t}^{-2{,}7}. \quad (17)$$

Данные рис. 2 свидетельствуют о том, что большинство пожаров произошло при значении комплексного показателя пожароопасности $\bar{t} < 0{,}22$ (75%), около 20% при $\bar{t}$ от 0,22 до 0,3 и около 5% при $\bar{t}$ от 0,3 до 0,4. С учетом ранее выполненных исследований [14] на основании приведенных результатов предлагается следующее подразделение шахтопластов по эндогенной пожароопасности по группам в зависимости от комплексного показателя $\bar{t}$:

I – особо опасные шахтопласты (участки), $\bar{t} \le 0{,}22$;
II – пожароопасные пласты (участки), $0{,}2 < \bar{t} \le 0{,}3$;
III – малоопасные пласты (участки), $0{,}3 < \bar{t} \le 0{,}4$.

Предлагаемая градация шахтопластов не противоречит нормативному документу [14] и легко может быть выполнена на практике с определением в лабораторных условиях характеристик угля и принимая размеры угольного скопления в шахтах, подверженных самовозгоранию.

Зависимость $N = f(\bar{t})$ имеет две характерные точки:

- $\bar{t}_{1-2}$ – на границе зон I и II, характеризующих категорию пожароопасности;
- $\bar{t}_{2-3}$ – на границе зон II и III, характеризующих категорию пожароопасности.

Точки $\bar{t}_{1-2}$ и $\bar{t}_{2-3}$ имеют аналитический вид

$$\bar{t}_{1-2} = \frac{t_{кр}}{T_0} - 1, \bar{t}_{2-3} = -\ln\left(2 - \frac{T_{кр}}{T_0}\right).$$

Средние значения $T_{кр}$ на границе зон I-II и II-III, найденные экспериментально, которые представлены

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.7

в таблице 2 для точек $\bar{t}_{1-2}$ и $\bar{t}_{2-3}$, составляют значения $\bar{t}_{1-2}$ = 366 К и $\bar{t}_{2-3}$ = 372 К, т.е. несколько увеличиваются с ростом параметра $\bar{t}$.

Используя полученную связь $\bar{t}$ с $T_{кр}$ возможно ориентировочно, имея только лабораторные данные о критической температуре самовозгорания угля, без других данных найти группу пожароопасности пластов, уточнив ее после получения дополнительных данных о химической активности углей, а также размерах и условиях образования их скоплений в шахте. Например, при $T_{кр}$ = 350 К; T_0 = 300 К, имея ($T_{кр}$ / T_0) - 1 = 0,17, согласно графику, (рис. 2), группа пожароопасности определим как I.

При определении склонности углей к самовозгоранию в настоящее время используется некоторый критерий $t_п$, измеряемый единицами времени и названый автором [1] пороговым, при превышении которого предполагается, что угольные пласты будут не склонны к самовозгоранию.

В приведенных нами исследованиях пороговое время составляет безразмерную величину $\bar{t}_п$ = 0,4, выше которой не было ни одного пожара. Чтобы сравнить его с применяемым в настоящее время, достаточно его умножить на среднее значение параметра B в уравнении (13). Тогда получим значение $t_п \approx 8 \cdot 10^6$ с, что в 2 раза больше используемого в настоящее время и должно служить запасом расчета.

Следующим параметром пожароопасности является инкубационный период самовозгорания угля. Согласно настоящим исследованиям он находится умножением комплексного параметра $\bar{t}$ на значение B, характерное для каждого угля. В исследованных нами случаях он равнялся от 16 до 30 суток (см. табл. 2).

3. Апробация

Для апробации предлагаемого комплексного параметра эндогенной пожароопасности было выполнено сравнение всех величин, которые согласно ему определяются, с данными, найденными по руководящему документу [14]. Результаты расчетов приведены в таблице 2 и позволяют заключить:

- предлагаемый данным расчетом критический размер угольного скопления несколько меньше, ранее рекомендованного, что дает запас расчета;
- пороговое значение критерия оценки склонности углей к самовозгоранию больше ранее найденных [1], что свидетельствует о запасе его расчета;
- предлагаемое к расчету значение инкубационного периода самовозгорания угля несколько больше определяемой согласно руководящему документу [14], что дает возможность шахтам для маневра при разработке угольных пластов;
- рассчитываемая по предлагаемой методике группа пожароопасности шахтопластов (участков) находится в основном в тех же пределах, что и найденная согласно [14].

4. Выводы

В результате исследований разработан новый комплексный показатель эндогенной пожароопасности органического материала, названный универсальным, который позволяет по данным анализа проб угля в лабораторных условиях находить все необходимые его характеристики: критический размер пожароопасного скопления, пороговое значение критерия оценки склонности к самовозгоранию, инкубационный период, группу пожароопасности. Предлагаемый показатель не противоречит существующим, а уточняет методы определения параметров эндогенной пожароопасности.

Аббревиатура

T_0, T	начальная и текущая температуры угля	К
$\Gamma_т$	комплексный критерий генерации теплоты, определяемый зависимостью	-
ξ	доля реакционной поверхности, принимающей участие в окислении угля	-
a^*_C	концентрация углерода в угле	моль/м^3
a_{O_2}	концентрация кислорода в угле	моль/м^3
q	теплота реакции окисления	Дж/моль
k	константа скорости окисления угля	м^3/(с·моль)
m	толщина скопления угля	м
ρ	плотность угля	кг/м^3
c_v	удельная теплоемкость угля	Дж/(кг·К)
a	коэффициент температуропроводности угля	м^2/с
$q_{др}$	теплота дросселирования метана	Дж/моль
$J_м$	скорость выделения метана	моль/(м^3·с)
G	газоносность пласта	моль/м^3
$t_п$	пороговое время самовозгорания угля	с
$k_в$	константа скорости испарения влаги	м^3/(с·моль)
$q_в$	теплота испарения влаги	Дж/моль
w	концентрация влаги в угле	моль/м^3
F_0	критерий Фурье, определяемый по формуле	-
t	время	с
$\mu^2_к$	корни уравнения [10]	-
Bi	критерий Bi = αm/λ	-
α	коэффициент теплоотдачи	Вт/ (м^2·К)
λ	коэффициент теплопроводности угля	Вт/ (м·К)
$B_к$	коэффициенты уравнения [10]	-

Литература

[1] Pashkovskiy P.S., *Endogennyye pozhary na ugolnykh shakhtakh,* Knowledge, Donetsk 2013, 791.
[2] Grekov S.P., Pashkovskiy P.S., Orlikova V.P. *Teplovoy effect okisleniya ugley i endogennaya pozharoopasnost'*, „Ugol Ukrainy" 2014, 10, 46-50.
[3] Grekov S.P., Pashkovskiy P.S., Golovchenko Ye.A., *Energiya aktivatsii ugley i endogennaya pozharoopasnost*, „Gornospasatel'noye delo" 2015, 51, 78-87.
[4] Pashkovskiy P.S., Grekov S.P., Zinchenko I.N. *Aktualnyye voprosy bor'by s samovozgoraniyem uglya,* Arpi, Donetsk 2012, 656.
[5] Grekov S.P., Pashkovskiy P.S., Zinchenko I.N., Golovchenko Ye.A., *Opredeleniye gruppy pozharoopasnosti plastov*, „Ugol Ukrainy" 2008, 8, 25-26.
[6] Pashkovskiy P.S., Levnin N.B., *Mery po preduprezhdeniyu pozharov v ugolnykh shakhtakh*, „Naukovyy visnyk Ukr." 2002, 2, 55-62.
[7] Grekov S.P., Kalyusskiy A.Ye., Baklan V.V., Koshovskiy B.I., *Neizotermicheskaya adsorbtsiya veshchestva sfericheskim mikroporistym zernom, soprovozhdayemaya khimicheskimi reaktsiyami vtorogo poryadka*, „Teoreticheskiye osnovy khimicheskoy tekhnologii" 1998, 32(2), 122-125.
[8] Pashkovskiy P.S., Grekov S.P., Cygankiewicz Ya., Shaytan I.A., *Opredeleniye sklonnosti ugley k samovozgoraniyu*, „Gornospasatel'noye delo" 2000, 10-16.
[9] Lykov A.V., *Teoriya teploprovodnosti,* Vysshaya shkola, Moskva 1997, 599.
[10] Grekov S.P., Kalyusskiy A.Ye., Koshovskiy B.I., *Vliyaniye dinamiki khemosorbtsii kisloroda uglyami na ikh sklonnost k samovozgoraniyu*, „Gornospasatel'noye delo" 1995, 21-28.
[11] Grekov S.P., Orlikova V.P., Vsyakiy A.A., *Okhlazhdeniye uglya za schyet drosselirovaniya vydelyayushchegosya metana.* „Gornospasatel'noye delo" 2013, 60, 97-106.
[12] Pashkovskiy P.S., Grekov S.P., Zinchenko I.N., *Vliyaniye kineticheskoy aktivnosti i vlazhnosti uglya na protsess samovozgoraniya,* „Gornospasatel'noye delo" 2007, 44, 17-25.
[13] Saranchuk V.I., Bayev Kh.A. *Endogennyye pozhary na ugolnykh shakhtakh,* Nedra, Moskva 1976, 150.
[13] Rukovodstvo po preduprezhdeniyu i tusheniyu endogennykh pozharov na ugolnykh shachtakh Ukrainy KD 12.01.402, Donetsk 2000, 216.

* * *

Греков Святослав Павлович – доктор технических наук, член-корреспондент Международной академии наук высшей школы, Начальник научно-исследовательского отдела борьбы с эндогенными пожарами в шахтах и на породных отвалах, специалист в области тепломассопереноса в горных выработках и пористых средах.

Пашковский Петр Семенович – доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки и техники Украины, первый заместитель директора НИИГД «Респиратор», основатель научной школы борьбы с пожарами на угольных шахтах.

Всякий Александр Александрович – инженер, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела борьбы с эндогенными пожарами в шахтах и на породных отвалах НИИГД «Респиратор».

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 99–120

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.8

dr hab. inż. **Mariusz Maślak**, prof. PK[1]
mgr inż. **Anna Tkaczyk**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 17.01.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 30.11.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Programowanie liniowe jako technika obliczeniowa użyteczna w szacowaniu odporności ogniowej stalowej ramowej konstrukcji nośnej[3]

Linear Programming as a Computational Procedure Useful in the Fire Resistance Evaluation of a Steel Loadbearing Frame Structure

Использование линейного программирования как метода расчёта огнестойкости стальной рамной несущей конструкции

ABSTRAKT

Cel: Przedstawiono i przedyskutowano oryginalną procedurę szacowania odporności ogniowej stalowego ramowego ustroju nośnego opartą na zastosowaniu metodyki programowania liniowego. Tego typu podejście wymaga dokonania linearyzacji zarówno klasycznych warunków równowagi, jak i warunku opisującego uplastycznienie krytycznego przekroju poprzecznego w elemencie stalowym miarodajnym do oceny nośności badanej ramy. Przekroje wybrane do analizy odpowiadają lokalizacji aktywujących się w pożarze przegubów plastycznych.
Metody: Miarą poszukiwanej odporności jest określona dla całej ramy temperatura krytyczna odpowiadająca osiągnięciu przez badany ustrój stanu granicznego nośności ogniowej. Stan ten identyfikowany jest z realizacją tego spośród potencjalnie możliwych mechanizmów czysto plastycznego zniszczenia ramy, który odpowiada najniższej możliwej wartości temperatury aktywacji. Taka specyfikacja wymaga akceptacji założenia, że przez cały czas trwania pożaru prognozowanego dla analizowanego ustroju nośnego wszystkie elementy tego ustroju będą efektywnie stężone. Dzięki temu nie występuje ryzyko jego wcześniejszego zniszczenia przez globalną lub lokalną formę utraty stateczności.
Wyniki: Pokazano sposób ogólnego formułowania problemu oraz specyfikacji funkcji celu, a także zasady budowy nierówności definiujących miarodajne ograniczenia. Uwzględniono przy tym interakcję momentu zginającego i siły podłużnej. Algorytm postępowania zilustrowano na załączonym przykładzie numerycznym. Uzyskane z rekomendowanych w pracy obliczeń oszacowanie temperatury krytycznej badanej ramy odniesiono do odpowiadającego mu wyniku alternatywnej analizy, przeprowadzonej w celach porównawczych, opartej na zastosowaniu klasycznego kinematycznego podejścia do teorii nośności granicznej.
Wnioski: Zaproponowane podejście obliczeniowe w opinii autorów artykułu jest bardziej uniwersalne w stosunku do możliwych procedur alternatywnych, rekomendowanych we wcześniejszych pracach. Pozwala bowiem na jednoznaczne i czytelne w interpretacji oszacowanie odporności ogniowej także w przypadku ram o złożonej geometrii i rozbudowanym schemacie obciążenia. W świetle założeń modelu formalnego, przytoczonych i szczegółowo dyskutowanych w tekście, uzasadnione może być również twierdzenie o znacząco większej wiarygodności uzyskanych w ten sposób oszacowań temperatury krytycznej analizowanej ramy w porównaniu do oszacowań otrzymanych w sposób konwencjonalny.

Słowa kluczowe: stalowa ramowa konstrukcja nośna, pożar, odporność ogniowa, temperatura krytyczna, programowanie liniowe
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: A new original procedure which can be applied to evaluate the fire resistance of a steel frame, based on the linear programming approach, is presented and discussed in this article. Such a computational technique requires the linearisation of both the classical equilibrium conditions and a condition describing the yield of a critical cross-section relating to the structural member conclusive in assessing the frame resistance. The sections selected for the analysis correspond to the location of the plastic hinges forming as a consequence of fire exposure.
Methods: The critical temperature, determined for the whole structure, and associated with the structure reaching its fire resistance limit state, is considered to represent the measure of such a fire resistance. This critical temperature corresponds to the realisation of such a potentially possible purely plastic failure mechanism that is bound to the lowest possible formation temperature. Such a specification requires the assumption that

[1] Politechnika Krakowska / Cracow University of Technology; mmaslak@pk.edu.pl;
[2] Biuro Budowlane Bauko S.C., Kielce;
[3] Artykuł został wyróżniony przez Komitet Redakcyjny / The article was recognised by the Editorial Committee; Procentowy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / Percentage contribution; M. Maślak – 60%, A. Tkaczyk – 40%;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

throughout the duration of the fire foreseen for the considered bearing structure, all the components of this system will be effectively braced, so that there is no risk of their earlier failure by local or global loss of stability.
Results: The general problem formulation approach, the formulation of the objective function, and the rules governing the development of inequalities defining the representative constraints, are presented in detail. The interaction between the longitudinal force and the bending moment is taken into account as well. The obtained results are illustrated by the numerical example. The estimate resulting from the calculation recommended in this article is related to the corresponding one based on the use of the kinematical approach to the theory of plasticity.
Conclusions: The proposed computational approach seems to be more universal in relation to the possible alternative procedures recommended by the authors of this study in their earlier works. It facilitates an unambiguous and clearly interpretable estimate of the steel frame fire resistance also sought in the case of the frame with complex geometry and a complicated load arrangement. In the light of the assumptions of a formal model discussed in detail in this article, the conclusion can also be made that the reliability of the estimates so obtained is significantly greater in comparison to the corresponding results calculated conventionally.

Key words: steel frame load bearing structure, fire, fire resistance, critical temperature, linear programming
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Представить и обсудить оригинальную процедуру оценки огнестойкости стальной рамной несущей конструкции на основе методологии линейного программирования. Такой подход требует проведения линеаризации как классических условий равновесия, так и условия, описывающего размягчение критического сечения стального элемента, достоверного в оценке несущей способности исследуемой рамы. Сечения, выбранные для анализа, соответствуют размещению активизирующихся при пожаре пластических шарниров.
Методы: Мерой огнестойкости является определенная для целой рамы критическая температура, связанная с достижением тестовой конструкцией предельного состояния несущей способности. Это условие определяется реализацией потенциала возможных механизмов при его пластическом разрушении, что соответствует самой низкой возможной величине температуры активации. При данной спецификации необходимо принять утверждение, что за все время пожара, прогнозированного как достоверный для анализируемой конструкции, все элементы конструкции будут иметь эффективную концентрацию. Благодаря этому нет никакого риска, что она разрушится раньше из-за общей или локальной (формы) потери устойчивости.
Результаты: Указан способ общей формулировки проблемы и спецификации целевой функции, а также принципы создания неравенств, определяющих достоверные ограничения. Учтено при этим взаимодействие изгибающего момента и продольной силы. Результаты проиллюстрированы на численном примере, приложенном к формальной презентации модели. Результаты, полученные из предложенных в этой работе расчетов оценки критической температуры испытуемой рамы относятся к соответствующему результату альтернативного анализа, проведенного для сравнительных целей, основанного на использовании классического кинематического подхода к теории предельной нагрузки.
Выводы: Предложенный вычислительный подход по мнению авторов представляется более универсальным в отношении к возможным альтернативным процедурам, рекомендованных авторами в предыдущих работах. Он позволяет дать четкую оценку и интерпретацию огнестойкости, также в случае рам со сложной геометрией и большой нагрузкой. В свете предположений формальной модели, перечисленных и подробно обсуждаемых в тексте, оправданным может быть также утверждение о значительно большей достоверности полученных таким образом значений оценки критической температуры анализируемой рамы по сравнению с оценками, полученными обычным способом.

Ключевые слова: стальная рама, несущая конструкция, пожар, огнестойкость, критическая температура, линейное программирование
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Inżynierską ocenę odporności ogniowej złożonego stalowego ramowego ustroju nośnego można uznać za wiarygodną jedynie wtedy, gdy w modelu formalnym towarzyszącym analizie statycznej odpowiadającej wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru rozwiniętego zostanie rozważona konstrukcja potraktowana całościowo. Tego typu badanie można ewentualnie zastąpić, choć nie zawsze jest to możliwe, przez szczegółową analizę zachowania się w pożarze funkcjonalnie jednorodnych podukładów ocenianej ramy, o jednoznacznie określonym schemacie i sposobie oddziaływania na pozostałe części konstrukcji. Jak dotąd w praktyce projektowej powszechnie stosowane jest myślowe wydzielanie z ustroju pojedynczych elementów nośnych (rygli, słupów) i przypisywanie do nich lepiej lub gorzej zamodelowanych warunków brzegowych opisujących zmieniającą się wraz z rozwojem pożaru podatność więzów krępujących te elementy. Pozwala to na otrzymanie stosunkowo prostych algorytmów weryfikujących możliwość bezpiecznego przenoszenia przyłożonych do konstrukcji obciążeń zewnętrznych wraz z siłami wewnętrznymi generowanymi wskutek ograniczenia możliwości swobodnej realizacji odkształceń będących skutkiem rozszerzalności termicznej stali. Niemniej jednak uzyskane w ten sposób wyniki z uwagi na prostotę podejścia obliczeniowego nie zawsze odpowiadają rzeczywistemu zachowaniu się badanego ustroju w warunkach ekspozycji ogniowej.

1. Introduction

An engineering evaluation of the fire resistance of a complex steel frame load bearing structure can be considered reliable only when the formal model associated with the statical analysis corresponding to the accidental design situation of a fully developed fire considers the structure as a whole. If needed, although not always possible, this type of test may be substituted with a detailed fire behaviour analysis relating to the functionally homogeneous substructures of the tested frame with an unambiguously defined pattern and the manner of exerting impact on other parts of the structure. So far, it has been common for design practice to mentally select individual load bearing members (beams, columns) from the structure and assign them to more-or-less well-modelled boundary conditions describing the susceptibility of the bonds that tie together these members as it changes with the spread of the fire. This can provide relatively simple algorithms that verify whether the external loads applied to the structure can be transferred together with the internal loads generated by the constraints in the free realisation of the strains resulting from the thermal expansion of steel. However, due to the simplicity of this computational approach, the results so obtained do not always correspond to the actual behaviour of the tested structure when exposed to fire. Indeed, it is difficult for such a simple physical model to reflect alone the redistribution of the internal forces in the members exposed directly to fire which

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 99–120
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

Trudno bowiem w tak prostym modelu fizycznym odwzorować chociażby zachodzącą w elementach konstrukcji poddanych bezpośredniemu oddziaływaniu ognia redystrybucję sił wewnętrznych determinującą ich wynikowy stan naprężenia czy odkształcenia. Ponadto sposób ten nie pozwala zidentyfikować, a zatem i oszacować istotność pewnych specyficznych dla ogrzewanej ramy efektów, które uwidaczniają się dopiero dzięki jej analizie globalnej. Przykładem może być generowanie się w ryglach rozpatrywanej ramy na skutek ich dużego ugięcia siły rozciągającej o znacznej wartości, bardzo groźnej ze względu na stateczność słupów szkieletu stalowego. Wartość takiej siły zależy bowiem głównie od podatności słupów ograniczających te rygle, a ta z kolei między innymi od geometrii całej ramy, sposobu jej obciążenia i jej schematu statycznego. Z tego względu dąży się do tego, aby miarą odporności ogniowej specyfikowanej dla badanej ramy była wielkość jednoznacznie do niej przypisana i stanowiąca niejako jej charakterystykę, niezależną od dodatkowych czynników czy okoliczności. Należy zaznaczyć, że jeśli za taką miarę przyjmie się czas, przez który w warunkach potencjalnie zagrażającego jej pożaru konstrukcja zapewni bezpieczne przenoszenie przyłożonych do niej obciążeń zewnętrznych wraz z termicznie indukowanym i zmiennym w czasie polem sił wewnętrznych, to miara ta będzie zależała od charakterystyki pożaru przyjętego do analizy. Zmiana intensywności nagrzewania lub chociażby maksymalnej temperatury gazów spalinowych osiąganej w strefie pożarowej, do której należy analizowana rama, oznaczać będzie równoczesną zmianę oszacowanej odporności. W opinii autorów bardziej uniwersalną miarą jest w tym przypadku temperatura krytyczna szacowana dla całego ustroju ramowego. Pod tym pojęciem rozumie się temperaturę odniesioną do osiągnięcia przez badaną ramę stanu granicznego nośności ogniowej, określoną w ustalonym, miarodajnym dla tej ramy elemencie i jednoznacznie powiązaną z wartościami temperatury osiągniętymi w tym samym czasie w pozostałych jej elementach [1]. Wyznaczenie wartości tej temperatury nie zawsze jest możliwe, zwłaszcza w przypadku konstrukcji żelbetowych. Trzeba jednak podkreślić, że konstrukcje stalowe należą do obiektów, dla których tego typu podejście obliczeniowe jest, zdaniem autorów, szczególnie przydatne. Ma to związek z dobrą przewodnością cieplną stali, dzięki której można uzasadnić założenie o wyrównanym rozkładzie temperatury zarówno w przekrojach poprzecznych stalowych elementów konstrukcyjnych, jak i na całej długości tych elementów. Istnieją różne sposoby wyznaczania temperatury krytycznej ramy stalowej. Powinny one uwzględniać możliwe sposoby jej zniszczenia. W takim ujęciu byłaby to zatem na przykład mniejsza z dwóch wartości temperatury, z których pierwszą zidentyfikowano dla zniszczenia przez globalną utratę stateczności ramy, drugą natomiast dla wyczerpania nośności plastycznej jej najsłabszego elementu. Ważne, że ustalona w ten sposób wartość poszukiwanej temperatury nie będzie zależeć od przebiegu rozwoju pożaru. Od tego przebiegu zależy bowiem jedynie czas, po którym zostanie ona osiągnięta w reprezentatywnym dla całej ramy elemencie konstrukcyjnym. Celem niniejszych rozważań jest prezentacja sposobu określania drugiej z przytoczonych powyżej wartości temperatury, to znaczy tej kojarzonej ze zniszczeniem typu plastycznego. Do jej wyznaczenia autorzy rekomendują wykorzystanie uogólnionego na sytuację pożaru formalizmu klasycznej teorii nośności granicznej. W prostych przypadkach tego typu podejście sprowadza się do rozważania możliwych i kinematycznie dopuszczalnych mechanizmów plastycznego zniszczenia ramy [2-3] lub ewentualnie do przeprowadzenia metodą częściowo graficzną redystrybucji momentów zginających w elementach ustroju nośnego, takiej aby wyrównać te momenty w przekrojach, w których mają powstać przeguby plastyczne [4-5].

determine their resultant stress or strain states. Furthermore, it is impossible with this method to identify, and, by extension, to estimate, the significance levels of certain effects specific to the heated frame, which require a global analysis of the frame to become evident. Take, for instance, the substantial tensile force in the beams of the frame under consideration created by their substantial deflection, which is very dangerous to the stability of steel-frame columns. The value of such a force depends mainly on the susceptibility of the columns that restrict these beams, with this susceptibility depending mainly on the geometry of the whole frame, its statical scheme, and on how it is loaded. For this reason, the aim is to measure the fire resistance specified for the tested frame based on a quantity assigned unambiguously to such a frame, and that, to some degree, determines the characteristics of the frame unaffected by any additional factors or circumstances. It should be noted that if this is to be measured as the time for which a structure potentially exposed to fire is capable of ensuring the safe transfer of loads applied to it, together with the thermally induced and temporally variable internal-force field, the measure, then, will depend on the characteristics of the fire under analysis. A change in the heating intensity, or in the maximum temperature of exhaust gases reached in the fire zone of which the analysed frame is part, will also mean a change in the estimated resistance. The authors of this article claim that the critical temperature estimated for the frame structure as a whole is a more universal measure in this case. Such a temperature is defined as the temperature relative to the fire resistance limit state reached by the tested frame, defined for a specific member that is representative of this frame, and unambiguously linked with the temperature values reached over the same time in its other members [1]. It is not always possible to determine such a temperature, especially for reinforced-concrete frames. Notably, however, the authors of this article believe that such a computational approach is particularly useful for steel structures. This is due to the high thermal conduction of steel, which can explain the assumption involving the equal distribution of temperature in both the cross-sections and over the whole length of steel members. The critical temperature of a steel frame can be determined in a number of ways. These should consider the potential ways in which the frame might fail. Defined as such, this would be, for instance, the lesser of two temperature values, where the former is identified for frame failure as a result of the whole frame's losing stability and the latter is identified for the loss of the plastic resistance of the frame's weakest member. What is important is that the temperature so determined will not depend on how the fire develops. What will depend on how the fire develops is only the time after which such the temperature is reached in a member that is representative of the whole frame. This article aims to demonstrate a method of determining the latter of the two temperature values mentioned above, i.e. the one involving plastic failure. The authors of this article recommend that the formalism of the classical plastic limit load theory, generalised for a fire situation, be used to determine such the temperature. In simple cases, such an approach involves considering the possible and kinematically admissible mechanisms of the plastic failure of the frame [2-3] or, possibly, determining, through a semi-graphic approach, the bending moment redistribution in the load bearing structural members such that it balances these moments in the cross-sections in which plastic hinges are to form [4-5]. The computational approaches mentioned above lead only to an approximate estimation of the plastic limit load of the frame from the top in the former case, i.e. from the dangerous side (meaning "overly optimistic"), and from the bottom in the latter case, i.e. meaning from the "underestimated" side. An overestimated load limit of the load bearing structure must be

BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 99–120
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

Przytoczone powyżej podejścia obliczeniowe prowadzą do uzyskania jedynie przybliżonego oszacowania nośności granicznej ramy, odpowiednio w pierwszym przypadku od góry, czyli od strony niebezpiecznej (w rozumieniu „nadmiernie optymistycznej"), w drugim natomiast od dołu, co oznacza „niedoszacowanej". Przeszacowanej nośności granicznej ustroju nośnego towarzyszyć musi nadmiernie restrykcyjne oszacowanie jego temperatury krytycznej, zaś nośność niedoszacowana oznacza zawsze wyznaczenie temperatury krytycznej na poziomie zbyt ryzykownym. Zawsze jednak będą to oszacowania bardziej wiarygodne od tych, które uzyskuje się metodami przybliżonymi, po analizie jedynie pojedynczych elementów konstrukcyjnych. W ogólnym przypadku, przy bardziej złożonych układach konstrukcyjnych, wykorzystanie zaproponowanych algorytmów może być trudne lub co najmniej uciążliwe. Z tego względu w prezentowanej pracy autorzy starają się przybliżyć czytelnikowi podejście bardziej uniwersalne, oparte na formalizmie programowania liniowego. Może ono wydawać się żmudne i pracochłonne w odniesieniu do prostych przypadków obliczeniowych. Jego zalety stają się jednak bardziej dostrzegalne w obliczeniach z dużą liczbą zmiennych, w których liczba możliwych przypadków jest trudniejsza do identyfikacji.

2. Ograniczenia w stosowaniu metody

Jak zaznaczono powyżej oszacowania temperatury krytycznej ramy stalowej uzyskane dzięki zastosowaniu formalizmu programowania liniowego będą miarodajne jedynie przy realizacji plastycznego mechanizmu zniszczenia ustroju nośnego. Mechanizm taki jest reprezentatywny dla ram wykonanych z kształtowników stosunkowo krępych, niepodatnych na globalną ani też na lokalną utratę stateczności. Ściślej mówiąc, przyjęte przekroje rygli i słupów oraz ich smukłości powinny umożliwić bezpieczne przenoszenie obciążeń w warunkach ekspozycji ogniowej aż do uplastycznienia najsłabszego z punktu widzenia pracy statycznej elementu nośnego. Mechanizm plastycznego zniszczenia ramy zostanie uzyskany wtedy, gdy będzie ona efektywnie stężona przez cały czas oddziaływania pożaru. W ogólnym przypadku wyliczona w ten sposób krytyczna temperatura ramy może stanowić jedynie jedno z oszacowań, które wspólnie z oszacowaniami kojarzonymi z innymi możliwymi mechanizmami zniszczenia w pożarze (na przykład zniszczeniem typu czysto sprężystego), pozwoli na wiarygodną ocenę odporności ogniowej rozpatrywanego ustroju.

W rozważaniach przytoczonych poniżej zakłada się, że temperatura poszczególnych elementów stalowych narasta wraz z rozwojem pożaru proporcjonalnie do jednego ustalonego parametru, wspólnego dla wszystkich części badanej ramy. Dzieje się tak faktycznie jedynie w przypadku, gdy słupy i rygle tej ramy wykonano z tej samej stali oraz z elementów o takim samym przekroju poprzecznym (zarówno w odniesieniu do jego kształtu, jak i rozmiaru). Na ogół jednak przekroje i smukłość słupów różnią się od tych odniesionych do rygli rozpatrywanej ramy. Różne mogą być również sposoby ich ekspozycji ogniowej (dla słupów zwykle miarodajne jest nagrzewanie na całym obwodzie przekroju poprzecznego, podczas gdy pasy górne rygli bywają osłonięte przed ogniem przez opierającą się na nich masywną żelbetową płytę stropową). Z powyższego wynika, że temperatura w tych elementach narasta wraz z rozwojem pożaru z reguły w odmienny sposób. Jeżeli jednak przyjąć, że miarodajnym scenariuszem pożaru w strefie pożarowej, do której należy rozpatrywana rama nośna, jest pożar w pełni rozwinięty, to temperatura gazów spalinowych będzie narastać, ale w danej chwili pożaru będzie wyrównana w całej strefie. Przy szacowaniu temperatury krytycznej ramy przyjmuje się, że jej ele-

accompanied by an overly restrictive estimation of its critical temperature, whereas an underestimated load bearing capacity always means that the critical temperature is determined on an excessively high-risk level. However, these estimations will always be more reliable than those made using approximate approaches following an analysis of members on an individual basis only. In a general case involving more complex structures, the use of the proposed algorithms can be difficult or at least burdensome. Accordingly, the authors of this article attempt to describe a more universal approach based on the formalism of linear programming. As arduous and laborious an approach this might seem compared to simple design situations, its advantages become more clear in computations involving a large number of variables, where the number of possible cases is more difficult to identify.

2. Restrictions in the application

As noted above, the critical temperatures values of a steel frame estimated using the formalism of linear programming will be more reliable only if the plastic mechanism of load bearing structure failure takes place. Such a mechanism is representative of frames made of relatively stocky sections that are not susceptible to global and local loss of stability. More specifically, the assumed cross-sections of beams and columns, and their slenderness ratios, should allow the safe transmission of loads when exposed to fire until the load bearing members that are the weakest in terms of static performance are plasticised. The mechanism of the plastic failure of the frame can be achieved when the frame is effectively braced throughout the fire exposure time. In the general case, the critical temperature of the frame so calculated might only be one of a number of estimations that, together with estimations associated with other possible mechanisms of fire-related failure (for instance, a purely elastic failure), could facilitate a reliable assessment of the fire resistance of the structure under consideration.

The discussion below assumes that the temperature of individual steel members increases with the development of a fire proportionately to a single specific parameter that is common to all parts of the tested frame. This is actually the case only when the beams and columns of this frame are made of the same steel and of members with the same cross-section (in relation to both the shape and the size). Generally, however, the cross-sections and slenderness ratios of columns differ from those relating to the beams of the frame under consideration. The ways in which they are exposed to fire can differ as well (for columns, the exposure of the whole cross-sectional perimeter is usually representative, whereas the top flanges of beams sometimes have a fire barrier in the form of a massive reinforced-concrete floor slab). This means that the temperature in these members usually increases with the development of a fire in a different manner. If, however, a fully developed fire is assumed to be a representative fire scenario for the fire zone of which the load bearing frame under consideration is part, then the temperature of exhaust gases will increase, but at any given moment of the fire it will be equal for the whole zone. To estimate the critical temperature of the frame, it is assumed that its members are in no way isolated from direct fire exposure. In such conditions the differences in the beams' and columns' temperature values determined through detailed computations will thus be negligible, which renders the previously made assumption about the proportionate increase in the temperature of frame members fully admissible.

The classical algorithm for the assessment of the plastic limit load of the frame is based on the identification of all possible and kinematically admissible movement mechanisms for the frame, followed by the determination, for each

menty nie są w żaden sposób izolowane przed bezpośrednią ekspozycją ogniową. Różnice w wyznaczonych ze szczegółowych obliczeń wartościach temperatury rygli i słupów będą zatem w takich warunkach zaniedbywalne, co czyni przyjęte wcześniej założenie o proporcjonalnym wzroście temperatury elementów ramy w pełni akceptowalnym.

Klasyczny algorytm oceny nośności granicznej ramy opiera się na identyfikacji dla tej ramy wszystkich możliwych i kinematycznie dopuszczalnych mechanizmów ruchu, a następnie na wyznaczeniu dla każdego z tych mechanizmów granicznego obciążenia, którego przyłożenie do badanej konstrukcji skutkuje jego uaktywnieniem. Najmniejsze z tak wyznaczonych obciążeń interpretuje się jako obciążenie determinujące nośność ustroju, a skojarzony z nim mechanizm ruchu jako mechanizm krytyczny. Podstawą do szczegółowych obliczeń jest w tym przypadku wielokrotne stosowanie zasady prac wirtualnych. Należy jednak zwrócić uwagę, że w równaniach konstytuujących tę zasadę jedynym parametrem zależnym od zaprojektowanych wcześniej przekrojów poprzecznych słupów i rygli badanej ramy jest plastyczna nośność tych przekrojów na czyste zginanie, czyli M_{pl}. Stąd wniosek, że nośność graniczna analizowanej ramy nie zależy od pola sił wewnętrznych indukowanych w konstrukcji w warunkach pożaru na skutek skrępowania swobodnej realizacji generowanych termicznie odkształceń. Nie zależy zatem także od historii, czyli zrealizowanego programu obciążenia ramy. Uogólnienie powyższego podejścia na przypadek bezpośredniej ekspozycji ogniowej ustroju nośnego sprowadza się do założenia ustalonego poziomu obciążeń zewnętrznych, skutkującego określonym stanem deformacji ramy, a następnie do poddania go monotonicznemu ogrzewaniu aż do wyczerpania nośności. W takim ujęciu oszacowana odporność ogniowa rozpatrywanej ramy specyfikowana poprzez zidentyfikowaną dla tej ramy temperaturę krytyczną nie będzie zależała od sposobu jej ogrzewania. Będzie taka sama, jeśli wyznaczy się ją w odniesieniu do sytuacji, gdy pożar początkowo rozwijał się powoli, po czym jego rozwój uległ znacznemu przyspieszeniu oraz w relacji do alternatywnego scenariusza, gdy pożar na początku rozwijał się bardzo szybko, aby w końcu tempo jego wzrostu uległo spowolnieniu, jeżeli tylko na skutek zadziałania obydwu porównywanych ze sobą scenariuszy gazy spalinowe w strefie pożarowej osiągnęły w miarodajnej do oceny chwili tę samą wartość temperatury.

3. Podstawowe założenia metody

Zgodnie z zasadami programowania liniowego zarówno sama funkcja celu, jak i wszystkie zdefiniowane dla niej ograniczenia, muszą zostać wyrażone przez odpowiednie równania i nierówności o postaci liniowej [6]. Z tego względu w dalszej analizie dla przypadku pożaru przyjęto uogólnienie klasycznego algorytmu obliczeniowego opartego na rozważaniu kolejnych potencjalnie możliwych i kinematycznie dopuszczalnych mechanizmów ruchu ustroju nośnego. Mogą to być zarówno mechanizmy typu globalnego, jak i lokalnego. Mechanizmy te uaktywniają się w badanej ramie po powstaniu w składających się na nią elementach odpowiedniej liczby odpowiednio zlokalizowanych przegubów plastycznych, jeśli tylko zaistnieją warunki do uruchomienia sekwencji nieskrępowanych obrotów w tych przegubach, takich że kierunki poszczególnych obrotów będą ze sobą odpowiednio skorelowane i nie będą się wzajemnie wygaszać. Realizacja w warunkach pożaru któregokolwiek z takich mechanizmów oznaczać będzie osiągnięcie przez ustrój stanu granicznego nośności ogniowej skojarzonego z poszukiwaną dla całej konstrukcji temperaturą krytyczną. Podstawowa idea zadania rozwiązywanego w niniejszej pracy stanowi sekwencję następujących stwierdzeń [7]:

of these mechanisms, of the plastic limit load which, if applied to the tested structure, triggers the mechanism. The smallest of loads so determined is interpreted as the load that determines the structural load bearing capacity, with the related movement mechanism being interpreted as the critical mechanism. The basis for detailed computations in this case is the multiple application of the virtual performances principle. It should be noted, however, that the only parameter that depends on the pre-designed cross-sections of columns and beams in the constitutive equations of this principle is the plastic resistance of these cross-sections to pure bending, i.e. M_{pl}. By extension, the plastic limit load of the analysed frame does not depend on the field of internal forces induced in the structure when exposed to fire as a result of restricting the free realisation of thermally generated deformations. Hence, it also does not depend on the history, i.e. the realised frame load programme. The generalisation of this approach for the purposes of the load bearing-structure direct fire exposure event involves assuming a specific level of external loads resulting in a specific state of frame deformation, followed by subjecting the structure to monotonic heating until it loses its load-bearing capacity. Estimated as such, the fire resistance of the frame under consideration, specified through the critical temperature identified for this frame, will not depend on how the frame is heated. The fire resistance will be the same if it is determined relative to the situation where the fire is developing slowly at the start and much faster later, and relative to the alternative scenario, where the fire is developing rapidly at the start to ultimately slow down, provided only that both comparable scenarios have caused the exhaust gases in the fire zone to reach the same temperature at a representative time.

3. The basic assumptions of the method

According to linear-programming principles, both the objective function and all the constraints defined for it must be expressed by corresponding linear equations and inequalities [6]. Consequently, further analysis makes a generalisation, for the purposes of a fire event, of a classical algorithm based on the consideration of the consecutive possible and kinematically admissible movement mechanisms of a load bearing structure. These mechanisms can be of both the global and the local types. These mechanisms are triggered in the analysed frame after a sufficient number of appropriately located plastic hinges form in its constituent components, provided that there are conditions to trigger a sequence of free rotations in these hinges, such that the directions of individual rotations are properly correlated and do not neutralise each other. The occurrence of any such mechanisms in a fire situation will lead the structure to reach its fire resistance limit state associated with the critical temperature sought for the whole structure. The underlying idea of the problem solved in this article is a sequence of the following propositions [7]:

- for the analysed possible and kinematically admissible movement mechanism, the number K and location of each of $k = 1,..., K$ plastic hinges of this mechanism is known,
- the considered movement mechanism will occur only when a plastic hinge will form in each of K previously identified cross-sections, i.e. when:

$$\forall k = 1,\ldots, K \qquad \left|M_{k,\Theta}\right| = M_{pl,\Theta} \tag{1}$$

(the lower index Θ here means interrelation with the steel temperature),

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

- dla wybranego do analizy potencjalnie możliwego do realizacji i kinematycznie dopuszczalnego mechanizmu ruchu znana jest liczba K i lokalizacja każdego z $k = 1,..., K$ przegubów plastycznych formujących ten mechanizm,
- rozważany mechanizm ruchu zostanie zrealizowany tylko wtedy, gdy w każdym z K wyróżnionych wcześniej przekrojów powstanie przegub plastyczny, czyli gdy:

$$\forall k = 1,..., K \qquad \left|M_{k,\Theta}\right| = M_{pl,\Theta} \tag{1}$$

(dolny indeks Θ oznacza tu zależność od temperatury stali),

- zgodnie z klasycznym podejściem statycznym teorii nośności granicznej nośność rozpatrywanej ramy nie zostanie osiągnięta tak długo dopóki można wymyślić taki statycznie dopuszczalny i samozrównoważony układ reakcji, generujący odpowiedni rozkład momentów rezydualnych sumowanych z momentami zginającymi pochodzącymi od pozostałych obciążeń, który po uwzględnieniu redystrybucji wszystkich momentów zginających zapewni bezpieczną pracę całej konstrukcji,
- można zatem poszukiwać maksymalnej wartości temperatury Θ, rozumianej w tym zadaniu jako funkcja celu, która przy określonych ograniczeniach wynikających zarówno z warunków równowagi, jak i z warunków plastyczności pozwoli na niespełnienie warunku (1),
- zadanie sformułowane powyżej jest typowym zadaniem rozwiązywanym metodami programowania liniowego.

4. Liniowe warunki równowagi

Do specyfikacji liniowych warunków równowagi w niniejszej pracy wykorzystano równania kanoniczne metody sił. Rozważmy dla przykładu statycznie niewyznaczalną ramę pokazaną na ryc. 1. W ustroju tym kolejne niewiadome hiperstatyczne oznaczono symbolami X_j przy czym $j = 1,..., m$ (w przykładzie $m = 12$). Ponadto poszczególnym obciążeniom przyłożonym do ramy przypisano symbole P_i, gdzie $i = 1,...11$. Należy zauważyć, że obciążenia P_i to nie tylko zewnętrzne obciążenia mechaniczne, skupione lub rozłożone na określonej długości elementów ramy, ale również obciążenia wewnętrzne generowane na skutek skrępowania swobody odkształceń termicznych. W analizowanym przykładzie założono, że pożar rozgorzał jedynie na dolnej kondygnacji badanej ramy i nie przedostał się przez strop i ściany na jej górne piętro. Temperatura gazów spalinowych narasta zatem monotonicznie tylko na tym poziomie budynku. Ponieważ rozważany pożar wskutek rozgorzenia osiągnął fazę pożaru rozwiniętego, temperatura ta jest w każdej chwili pożaru wyrównana na całej kondygnacji opanowanej przez ogień, rozumianej w takim ujęciu jako jedna strefa pożarowa. Narastanie temperatury gazów spalinowych w tej strefie skutkuje równoczesnym narastaniem temperatury dolnych słupów i rygli ramy, co na ryc. 1 przy tych elementach zaznaczono symbolem Θ. Temperatura stali w każdym z nagrzewanych elementów konstrukcyjnych jest w danej chwili pożaru taka sama ze względu na wcześniejsze założenie o zastosowaniu do nich kształtowników stalowych o jednakowych przekrojach poprzecznych. Można zatem temperaturę Θ potraktować jako kolejne obciążenie, przyjmując, że dla $i = 11$ zachodzi $P_i = \Theta$. Mamy zatem do czynienia z sytuacją, gdy w czasie ekspozycji ogniowej wartości obciążeń P_i dla $i = 1,...10$ pozostają na stałym poziomie i nie zależą od temperatury Θ. Wzrasta jedynie wartość obciążenia $P_{11} = P_{11,\Theta}$.

Z formalizmu metody sił wynika, że:

$$\sum_{j=1}^{m} \delta_{kj} x_{j,\Theta} + \sum_{i} \Delta_{ki,\Theta} = 0 \tag{2}$$

- according to the classical static approach of the plastic limit load theory, the load bearing capacity of the considered frame will not be reached as long as it is possible to conceive of such a statically admissible and self-equilibrated system of reactions – generating an appropriate distribution of residual moments summed up with the bending moments induced by other loads – that will ensure the safe performance of the whole structure after the redistribution of all bending moments has been factored in.
- the aim, therefore, might be to look for the maximum temperature value Θ, defined here as the goal function that, under specific constraints attributable to both the equilibrium and yield conditions, will facilitate the condition's (1) not being satisfied.
- the problem defined above is a typical problem solvable with linear-programming methods.

4. Linear equilibrium conditions

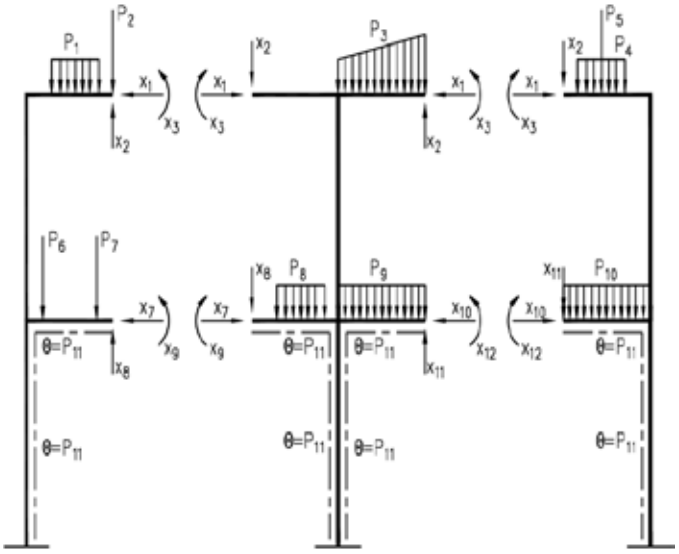
In this article the canonical equations of the force method are used to specify the linear equilibrium conditions. Consider as an example a statically indeterminate frame as shown in Figure 1. In this structure, individual hyperstatic unknows are marked with the X_j symbols, with $j = 1,..., m$ (the example shows $m = 12$). Also, individual loads applied to the frame are assigned the P_i symbols, where $i = 1,...11$. It should be noted that the P_i loads are not only external loads, concentrated or distributed along a specific length of the frame members, but also internal loads induced by constraints on free thermal deformations. The analysed example assumes that the fire involved only the lower floor of the analysed frame without penetrating to its upper floor through the floor slab and walls. The exhaust gas temperature, then, increases monotonically only at this level of the building. Since the considered fire flashed over to become a fully developed fire, this temperature is equal for the whole floor which is on fire, defined here as the only fire zone, at any given moment of the fire. The rising exhaust gas temperature in this zone causes a simultaneous increase in the temperature of the lower frame columns and beams, as marked for these members in Figure 1 with the Θ symbol. The steel temperature in each of the heated members is the same at any given moment of the fire because of the assumption that these members are made of steel sections with the same cross-section. The Θ temperature, then, can be considered as another load, assuming that for $i = 11$ there is $P_i = \Theta$. Therefore, this is a situation where the load values of P_i for $i = 1,...10$ remain at a constant level and are independent of the temperature when exposed to fire. The only value that increases is the load $P_{11} = P_{11,\Theta}$.

It follows from the formalism of the forces method that:

$$\sum_{j=1}^{m} \delta_{kj} x_{j,\Theta} + \sum_{i} \Delta_{ki,\Theta} = 0 \tag{2}$$

where δ_{kj} are displacements of a statically determinate basic system, as specified in point k, induced by hyperstatic forces with the values of $x_j = 1$, and $\Delta_{ki\,\Theta}$ are corresponding displacements of the same basic system induced by the load P_i (or Pi,Θ). The equation (2) is often used to prove that the principle of the superposition of the bending moment is true. Consequently, the value of the bending moment in point k of the analysed frame is determined by the equation:

$$M_{k,\Theta} = \sum_{j=1}^{m} m_{kj} x_{j,\Theta} + \sum_{i} m_{ki}^{p} P_i \tag{3}$$



Ryc. 1. Przykładowa rama z zaznaczonymi siłami hiperstatycznymi i obciążeniami zewnętrznymi.
Fig. 1. Sample frame with marked hyperstatic forces and external loads
Źródło: Rysunek na podstawie pracy [8] uzupełniono o obciążenie termiczne wynikające z nagrzania wyróżnionych elementów konstrukcji.
Source: Figure based on [8] supplemented by the thermal load due to the heating of selected structural members.

gdzie δ_{kj} są określonymi w punkcie *k* przemieszczeniami statycznie wyznaczalnego układu podstawowego wywołanymi siłami hiperstatycznymi o wartościach x_j = 1, natomiast $\Delta_{ki\ \Theta}$ analogicznymi przemieszczeniami tego samego układu podstawowego pochodzącymi od obciążenia P_i (lub *Pi,*Θ). Zależność (2) często wykorzystuje się do udowodnienia prawdziwości zasady superpozycji momentów zginających. W konsekwencji wartość momentu zginającego w punkcie *k* badanej ramy wyznacza się z równania:

$$M_{k,\Theta} = \sum_{j=1}^{m} m_{kj} x_{j,\Theta} + \sum_{i} m_{ki}^{p} P_i \qquad (3)$$

w którym m_{kj} jest momentem zginającym określonym w punkcie *k* statycznie wyznaczalnego układu podstawowego tej ramy i pochodzącym od siły hiperstatycznej x_j = 1, natomiast m_{ki}^{p} – analogicznym momentem zginającym, również skojarzonym ze statycznie wyznaczalnym układem podstawowym rozpatrywanej ramy ale pochodzącym od obciążenia P_i = 1. Oczywiście, jednym z obciążeń P_i jest w tym przypadku obciążenie $P_{11,\Theta}$, jedyne zmieniające się wraz z temperaturą Θ. Nie daje ono jednak momentu zginającego w statycznie wyznaczalnym układzie podstawowym ramy, a zatem $m_{k,\mathbf{1}}^{p} = 0$. Analogicznie, siłę podłużną w punkcie *k* ramy można wyznaczyć z równania:

$$N_{k,\Theta} = \sum_{j=1}^{m} n_{kj} x_{j,\Theta} + \sum_{i} n_{ki}^{p} P_i \qquad (4)$$

natomiast siłę poprzeczną z zależności:

$$V_{k,\Theta} = \sum_{j=1}^{m} v_{kj} x_{j,\Theta} + \sum_{i} v_{ki}^{p} P_i \qquad (5)$$

przy czym $n_{k,11}^{p} = 0$ i $v_{k,11}^{p} = 0$. Znaczenie parametrów n_{kj} i v_{kj} oraz odpowiednio n_{kj}^{p} i v_{kj}^{p} jest analogiczne do m_{kj} i m_{kj}^{p}, z tym, że są one odniesione kolejno do siły podłużnej $N_{k,\Theta}$ i siły poprzecznej $V_{k,\Theta}$, nie zaś do momentu zginającego $M_{k,\Theta}$.

where m_{kj} is the bending moment defined in point *k* of the statically determinate basic system of this frame and induced by the hyperstatic force x_j = 1, and m_{ki}^{p} is the corresponding bending moment that is also interrelated with the statically determinate basic system of the considered frame, except that it is induced by the load P_i = 1. It is self-explanatory, then, that one of the loads P_i is in this case the load $P_{11,\Theta}$, which is the only load that changes along with the changing temperature Θ. This equation, however, does not produce the bending moment in a statically determinate basic system of the frame, so $m_{k,\mathbf{1}}^{p} = 0$. By analogy, the longitudinal force in point *k* of the frame can be determined by the equation:

$$N_{k,\Theta} = \sum_{j=1}^{m} n_{kj} x_{j,\Theta} + \sum_{i} n_{ki}^{p} P_i \qquad (4)$$

and the transverse force can be determined by the relationship:

$$V_{k,\Theta} = \sum_{j=1}^{m} v_{kj} x_{j,\Theta} + \sum_{i} v_{ki}^{p} P_i \qquad (5)$$

where $n_{k,11}^{p} = 0$ and $v_{k,11}^{p} = 0$. The meaning of the parameters n_{kj} and v_{kj} and n_{kj}^{p} and v_{kj}^{p}, respectively, corresponds to m_{kj} and m_{kj}^{p}, except that they relate to the longitudinal force $N_{k,\Theta}$ and the transverse force $V_{k,\Theta}$, respectively, as opposed to the bending moment $M_{k,\Theta}$.

5. The linearisation of the yield criterion

It follows from the static approach of the plastic limit load theory that if it is possible to identify for the considered structure such a statically admissible distribution of residual bending moments – induced by a self-equilibrated system of reactions – that will ensure a safe transfer of loads when combined with the distribution of bending moments specified for the purely elastic performance of the system, then it is reasonable to assert that this particular distribution will emerge in the load process to resist the triggering of any kinematically admissible movement mechanism in the analysed system. In other words, each statically indeterminate structure that is made of steel

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

5. Linearyzacja warunku plastyczności

Z podejścia statycznego teorii nośności granicznej wynika, że jeżeli tylko dla rozpatrywanej konstrukcji da się zidentyfikować taki statycznie dopuszczalny rozkład zginających momentów rezydualnych, generowany przez samozrównoważony układ reakcji, który po złożeniu z rozkładem momentów zginających specyfikowanym dla czysto sprężystej pracy ustroju zapewni bezpieczne przenoszenie obciążeń, to można twierdzić, że właśnie taki rozkład zostanie wygenerowany w procesie obciążenia i przeciwstawi się uruchomieniu w analizowanym układzie jakiegokolwiek kinematycznie dopuszczalnego mechanizmu ruchu. Innymi słowy, każda konstrukcja statycznie niewyznaczalna wykonana z elementów stalowych o przekrojach klasy 1, czyli takich, które po uplastycznieniu zachowują zdolność do obrotu, posiada swoistą rezerwę nośności warunkowaną możliwościami redystrybucji momentów zginających. Twierdzenie to pozwala na konstatację, że stan graniczny nośności ogniowej kojarzony z realizacją kinematycznie dopuszczalnego mechanizmu ruchu nie zostanie w ramie osiągnięty tak długo, dopóki można wykazać, że istnieje możliwość jego zablokowania przez odpowiedni rozkład momentów rezydualnych. Oznacza to, że temperatura krytyczna Θ_{cr} specyfikowana dla danego mechanizmu ruchu będzie największą spośród wszystkich możliwych do uzyskania z obliczeń. Warunek plastyczności (1), jeśli lokalizować go po stronie bezpiecznej warunku granicznego, powinien zatem zostać zapisany w formie nierówności:

$$\forall k = 1,\ldots,K \qquad \left|M_{k,\Theta}\right| \le M_{pl,\Theta,d} \tag{6}$$

W kolejnym kroku należy określić relację pomiędzy plastyczną nośnością przekroju poprzecznego i temperaturą stali, czyli funkcję $M_{pl,\Theta,d} = M_{pl,d}(\Theta)$. Jeżeli stopień redukcji granicy plastyczności stali w temperaturze pożarowej opisuje współczynnik $k_{y,\Theta} = f_{y,\Theta}/f_y$, o wartościach specyfikowanych w normie PN-EN 1993-1-2 [9], to przy założeniu równomiernego rozkładu temperatury Θ zarówno w przekroju poprzecznym, jak i na długości ogrzewanego elementu wartość obliczeniową poszukiwanej nośności można wyznaczyć z zależności:

$$M_{pl,\Theta,d} = W_{pl}\frac{k_{y,\Theta}f_y}{\gamma_{M,fi}} = k_{y,\Theta}M_{pl,d}\frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_M} \tag{7}$$

w której: f_y jest wartością nominalną granicy plastyczności stali, w uproszczonych obliczeniach normowych zwykle utożsamianą z jej wartością charakterystyczną, W_{pl} – wskaźnikiem oporu plastycznego, zależnym jedynie od wielkości geometrycznych, a więc niezależnym od temperatury, natomiast γ_M i $\gamma_{M,fi}$ – częściowymi współczynnikami bezpieczeństwa specyfikowanymi dla nośności i odniesionymi odpowiednio do podstawowej sytuacji projektowej i wyjątkowej sytuacji pożaru. W praktycznych obliczeniach, zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 1991-1-2 [10], przyjmuje się, że $\gamma_{M,fi} = \gamma_M = 1{,}0$. Oznacza to, że obliczeniowa nośność plastyczna przekroju elementu stalowego zmienia się wraz z temperaturą proporcjonalnie do zmian charakterystycznej granicy plastyczności stali. Jest to zależność silnie nieliniowa. Z badań eksperymentalnych wynika, że niezależnie od dużej zmienności statystycznej uzyskiwanych wyników, dobrym oszacowaniem poszukiwanej zależności jest relacja:

$$\text{gdzie } k_{y,\Theta} = \frac{1{,}0087}{\left(e^{\beta}+1\right)^{0{,}2609}} \quad \text{gdzie } \beta = \frac{\Theta - 482}{39{,}19} \tag{8}$$

Aby zależność (8) mogła zostać wykorzystana do proponowanego w niniejszej pracy algorytmu programowania liniowego, musi zostać zlinearyzowana. Wprawdzie w normie PN-EN 1993-1-2 [9] zamienia się ją na odcinkowo liniową

members with class 1 cross-sections – i.e. members that retain their ability to rotate after yield – has an inherent reserve of load bearing capacity conditional on the capacity to redistribute bending moments. This allows the conclusion that the fire resistance limit state associated with the occurrence of the kinematically admissible movement mechanism will not be reached in the frame as long as it is possible to demonstrate that it can be blocked by an appropriate distribution of residual moments. This means that the critical temperature Θ_{cr} specified for a given movement mechanism will be the highest of all computable temperature values. When located on the safe side of the boundary condition, the yield criterion should be expressed in the form of the inequality:

$$\forall k = 1,\ldots,K \qquad \left|M_{k,\Theta}\right| \le M_{pl,\Theta,d} \tag{6}$$

Another step is to define the relationship between the plastic bending resistance of the cross-section and the steel temperature, i.e. the function $M_{pl,\Theta,d} = M_{pl,d}(\Theta)$. If the extent to which the yield point of steel is reduced in the fire temperature is described by the factor $k_{y,\Theta} = f_{y,\Theta}/f_y$, with values specified in the PN-EN 1993-1-2 standard [9], then, assuming the equal distribution of the temperature Θ, the estimated value of the load bearing capacity sought can be determined both cross-wise and length-wise in relation to the heated member based on the following relationship:

$$M_{pl,\Theta,d} = W_{pl}\frac{k_{y,\Theta}f_y}{\gamma_{M,fi}} = k_{y,\Theta}M_{pl,d}\frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_M} \tag{7}$$

where f_y is the nominal value of the yield point of steel, usually identified with its characteristic value in simplified standardised computations, W_{pl} – is the plastic section modulus that depends only on the geometric values and as such is independent of the temperature, while γ_M and $\gamma_{M,fi}$ – are partial safety factors specified for load bearing capacity and relating to the basic design situation and the accidental fire situation, respectively. In practical computations, as recommended by the PN-EN 1991-1-2 standard [10], it is assumed that $\gamma_{M,fi} = \gamma_M = 1{,}0$. This means that the design plastic bending resistance of a steel member's cross-section changes with the temperature proportionately to the changes in the characteristic yield point of steel. This is a highly non-linear relationship. Experiments show that regardless of the high statistical variability of the results, the following relation is a good estimation of the relationship sought:

$$\text{where } k_{y,\Theta} = \frac{1{,}0087}{\left(e^{\beta}+1\right)^{0{,}2609}} \quad \text{and } \beta = \frac{\Theta - 482}{39{,}19} \tag{8}$$

In order for the relationship (8) to be used for the linear-programming algorithm proposed here, it must be linearised. While in the PN-EN 1993-1-2 standard [9] it is substituted with a piecewise linear function, the number of straight segments is so large that it makes computation practically impossible. It can be assumed, however, that the resultant critical temperature of the frame is relatively rarely estimated to be more than 785°C. Such a limit allows the acceptance of the simplified relationship proposed by the authors of [3]. This relationship is as follows:

- for: $20^{\circ}\text{C} \le \Theta \le 400^{\circ}\text{C}$: $\quad k_{y,\Theta} = k_{y,20} = k_{y,400} = 1{,}0$ (9)
- for: $400^{\circ}\text{C} < \Theta \le 785^{\circ}\text{C}$: $\quad k_{y,\Theta} = 2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\Theta$ (10)

The approximation level of straight lines resulting from the relationships (9) and (10) to the piecewise linear function as proposed in the PN-EN 1993-1-2 standard [9] is shown in Figure 2. It is easy to notice that for temperature values high-

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 99–120
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

łamaną, jednak liczba odcinków prostych jest na tyle duża, że w praktyce uniemożliwia to prowadzenie obliczeń. Można jednak przyjąć, że wynikowa temperatura krytyczna ramy stosunkowo rzadko szacowana jest na poziomie wyższym niż 785°C. Takie ograniczenie pozwala na akceptację zależności uproszczonej zaproponowanej przez autorów w pracy [3]. Ma ona postać:

- dla: $20^{\circ}\mathrm{C} \le \Theta \le 400^{\circ}\mathrm{C}$: $k_{y,\Theta} = k_{y,20} = k_{y,400} = 1{,}0$ (9)
- dla: $400^{\circ}\mathrm{C} < \Theta \le 785^{\circ}\mathrm{C}$: $k_{y,\Theta} = 2{,}04 - 2{,}6 \cdot 10^{-3}\Theta$ (10)

Stopień przybliżenia prostych wynikających z zależności (9) i (10) do łamanej proponowanej w normie PN-EN 1993-1-2 [9] pokazano na ryc. 2. Łatwo zauważyć, że dla temperatury wyższej niż 785°C otrzymuje się ujemne wartości współczynnika $k_{y,\Theta}$, co nie ma uzasadnienia formalnego. W takim ujęciu jest to zatem niejako temperatura graniczna, powyżej której zaniedbuje się i tak już niewielką nośność badanego przekroju. Wykorzystanie zależności (9) i (10) daje możliwość zapisania warunku plastyczności w postaci liniowej. Wychodząc z formuły (6), można bowiem zauważyć, że zachodzi:

- dla: $20^{\circ}\mathrm{C} \le \Theta \le 400^{\circ}\mathrm{C}$: $M_{pl,\Theta,d} = M_{pl,d}$ (11)
- dla: $400^{\circ}\mathrm{C} < \Theta \le 785^{\circ}\mathrm{C}$: $M_{pl,\Theta,d} = M_{pl,d}\left(2{,}04 - 2{,}6 \cdot 10^{-3}\Theta\right)$ (12)

Należy zaznaczyć, że nie ma formalnych przeszkód do rozważenia sytuacji nierównomiernego ogrzania przekroju poprzecznego. Można na przykład uwzględnić niewiele niższą temperaturę górnego pasa dwuteowego stalowego rygla ramy względem pozostałych części przekroju. Taka, w praktyce stosunkowo niewielka, różnica temperatury, odpowiednio Θ^l w dolnym pasie i w środniku rozpatrywanego przekroju oraz $\Theta^u < \Theta^l$ w jego górnym pasie jest skutkiem bezpośredniego sąsiedztwa górnego pasa stalowego rygla ramy z masywną żelbetową płytą stropową o dużej pojemności cieplnej. Ogrzanemu w ten sposób przekrojowi przypisuje się wtedy parametr α stanowiący niejako mnożnik temperatury odniesienia Θ^l [8], taki że:

$$\alpha = \frac{\Theta^l - \Theta^u}{\Theta^l} \tag{13}$$

er than 785°C negative values of the factor $k_{y,\Theta}$ are obtained, for which there is no formal explanation. As such, this is, to some extent, a limit temperature above which the resistance of the analysed cross-section, being insignificant anyway, is ignored. The use of the relationships (9) and (10) makes it possible to express the yield criterion in a linear form. Indeed, taking the formula (6) as the starting point, the following can be observed:

- for: $20^{\circ}\mathrm{C} \le \Theta \le 400^{\circ}\mathrm{C}$: $M_{pl,\Theta,d} = M_{pl,d}$ (11)
- for: $400^{\circ}\mathrm{C} < \Theta \le 785^{\circ}\mathrm{C}$: $M_{pl,\Theta,d} = M_{pl,d}\left(2{,}04 - 2{,}6 \cdot 10^{-3}\Theta\right)$ (12)

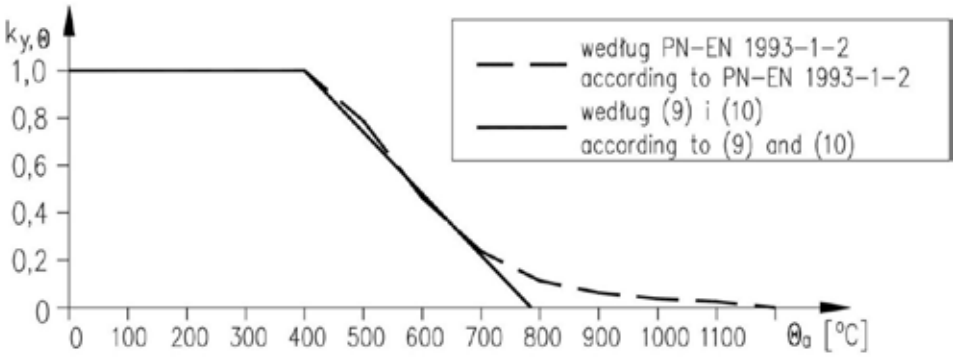
It is important to note that there are no formal obstacles to considering a situation where the cross-section is not heated uniformly. For instance, a slightly lower temperature can be considered of the I-beam top flange of the steel frame beam in relation to other parts of the cross-section. Such an, actually insignificant, temperature difference – Θ^l in the bottom flange and in the middle of the considered cross-section, and $\Theta^u < \Theta^l$ in its top flange, respectively – is attributable to the direct contact of the top flange of the steel frame beam with a massive reinforced-concrete floor slab of high heat capacity. The cross-section so heated is then assigned the parameter α, which is, to some extent, the multiplier of the reference temperature Θ^l [8], such that:

$$\alpha = \frac{\Theta^l - \Theta^u}{\Theta^l} \tag{13}$$

This means that there is $\Theta^u = (1 - \alpha)\Theta^l$ (Figure 3). It should be noted, however, that the value of the factor α changes with the change in temperature Θ^l during the fire. And this is by no means a proportionate change. The neutral-axis location changes as well, which further complicates computations. The yield criterion, then, must be in each case linearised again for each given value of the steel temperature.

For multi-storey frames, it might prove important for the precision of the estimated critical temperature of Θ_{cr} to take into account the effect of the *M-N* interaction. The yield criterion (6) is then expressed by the relationship:

$$\forall k = 1,\ldots,K \quad \left|M_{k,\Theta}\right| \le M_{pl,\Theta,d}\left(1 - \frac{\left|N_{k,\Theta}\right|}{N_{pl,\Theta,d}}\right) \tag{14}$$



Ryc. 2. Aproksymacja zależnościami (9) i (10) łamanej proponowanej w normie PN-EN 1993-1-2 [9] do przybliżenia relacji (8)
Fig. 2. An approximation of the piecewise linear function proposed in the PN-EN 1993-1-2 [9] standard to estimate the relationship (8) by the formulae (9) and (10)
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [3].
Source: Own elaboration based on [3].

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

Oznacza to, że zachodzi $\Theta^u = (1 - \alpha)\Theta^l$ (ryc. 3). Należy jednak zauważyć, że wartość współczynnika α zmienia się w czasie pożaru wraz ze zmianą wartości temperatury Θ^l. Nie jest to przy tym zmiana w żaden sposób proporcjonalna. Zmienia się również położenie osi obojętnej, co dodatkowo komplikuje obliczenia. Linearyzację warunku plastyczności trzeba zatem w takim przypadku przeprowadzać od nowa dla każdej zadanej wartości temperatury stali.

W przypadku ram wielokondygnacyjnych istotnym dla precyzji uzyskanego oszacowania temperatury krytycznej Θ_{cr} może okazać się uwzględnienie wpływu interakcji *M-N*. Warunek plastyczności (6) zapisuje się wtedy zależnością:

$$\forall k = 1,\ldots,K \quad \left|M_{k,\Theta}\right| \le M_{pl,\Theta,d}\left(1 - \frac{\left|N_{k,\Theta}\right|}{N_{pl,\Theta,d}}\right) \quad (14)$$

Ponieważ jednak, analogicznie do (7), zachodzi:

$$N_{pl,\Theta,d} = A\frac{k_{y,\Theta}f_y}{\gamma_{M,fi}} = k_{y,\Theta}N_{pl,d}\frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_M} \quad (15)$$

gdzie *A* jest powierzchnią analizowanego przekroju poprzecznego, warunek (14) sprowadza się do postaci:

$$\forall k = 1,\ldots,K \quad \left|M_{k,\Theta}\right| + \frac{W_{pl}}{A}\left|N_{k,\Theta}\right| \le M_{pl,\Theta,d} \quad (16)$$

równoważnej sekwencji czterech niezależnych ograniczeń, to znaczy:

- gdy: $M_{k,\Theta} \ge 0$ i $N_{k,\Theta} \ge 0$: (17)
  $\forall k = 1,\ldots,K \;\; M_{k,\Theta} + \frac{W_{pl}}{A}N_{k,\Theta} \le M_{pl,\Theta,d}$
- gdy: $M_{k,\Theta} < 0$ i $N_{k,\Theta} < 0$: (18)
  $\forall k = 1,\ldots,K \quad -M_{k,\Theta} - \frac{W_{pl}}{A}N_{k,\Theta} \le M_{pl,\Theta,d}$
- gdy: $M_{k,\Theta} \ge 0$ i $N_{k,\Theta} < 0$: (19)
  $\forall k = 1,\ldots,K \quad M_{k,\Theta} - \frac{W_{pl}}{A}N_{k,\Theta} \le M_{pl,\Theta,d}$
- gdy: $M_{k,\Theta} < 0$ i $N_{k,\Theta} \ge 0$: (20)
  $\forall k = 1,\ldots,K \;\; -M_{k,\Theta} + \frac{W_{pl}}{A}\left|N_{k,\Theta}\right| \le M_{pl,\Theta,d}$

Since, however, by analogy to (7), there is:

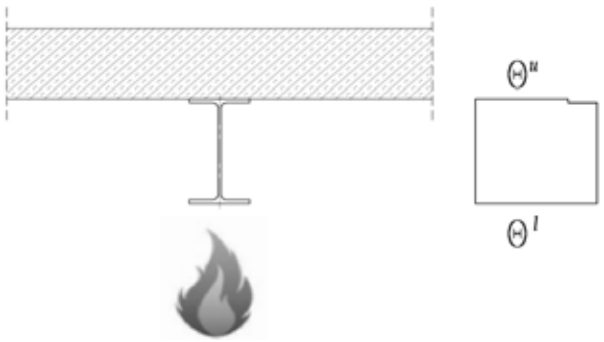
$$N_{pl,\Theta,d} = A\frac{k_{y,\Theta}f_y}{\gamma_{M,fi}} = k_{y,\Theta}N_{pl,d}\frac{\gamma_{M,fi}}{\gamma_M} \quad (15)$$

where *A* is the cross sectional are the analysed member, the criterion (14) is shown as:

$$\forall k = 1,\ldots,K \quad \left|M_{k,\Theta}\right| + \frac{W_{pl}}{A}\left|N_{k,\Theta}\right| \le M_{pl,\Theta,d} \quad (16)$$

of an equivalent sequence of four independent constraints, that is:

- when: $M_{k,\Theta} \ge 0$ i $N_{k,\Theta} \ge 0$: (17)
  $\forall k = 1,\ldots,K \;\; M_{k,\Theta} + \frac{W_{pl}}{A}N_{k,\Theta} \le M_{pl,\Theta,d}$
- when: $M_{k,\Theta} < 0$ i $N_{k,\Theta} < 0$: (18)
  $\forall k = 1,\ldots,K \quad -M_{k,\Theta} - \frac{W_{pl}}{A}N_{k,\Theta} \le M_{pl,\Theta,d}$
- when: $M_{k,\Theta} \ge 0$ i $N_{k,\Theta} < 0$: (19)
  $\forall k = 1,\ldots,K \quad M_{k,\Theta} - \frac{W_{pl}}{A}N_{k,\Theta} \le M_{pl,\Theta,d}$
- when: $M_{k,\Theta} < 0$ i $N_{k,\Theta} \ge 0$: (20)
  $\forall k = 1,\ldots,K \;\; -M_{k,\Theta} + \frac{W_{pl}}{A}\left|N_{k,\Theta}\right| \le M_{pl,\Theta,d}$



Ryc. 3. Obliczeniowy rozkład temperatury w przekroju poprzecznym nieizolowanego stalowego rygla ramy nośnej uwzględniający wpływ sąsiadującej z tym ryglem żelbetowej płyty stropowej
Fig. 3. The computational distribution of the temperature in the cross-section of an uninsulated steel beam in a bearing frame, taking into account the influence of a reinforced-concrete floor slab in direct contact with the beam
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

6. Sformułowanie zadania programowania liniowego

Liniowe warunki równowagi, odpowiednio (3), (4) i (5) oraz zlinearyzowany warunek plastyczności (16) pozwalają na sformułowanie ograniczeń stanowiących bazę dla zadania programowania liniowego. Wcześniej jednak należy przyjąć ustaloną wartość temperatury $\Theta = \Theta_0$, która w dalszych rozważaniach traktowana będzie jako temperatura odniesienia. Wtedy bowiem temperaturę krytyczną Θ_{cr} wyznaczy mnożnik $\zeta = \zeta_{cr}$, taki że:

$$\Theta_{cr} = \zeta_{cr}\Theta_0 \tag{21}$$

W zadaniu chodzi zatem o maksymalizację wartości mnożnika ζ, kojarzonego w tym przypadku z funkcją celu, przy spełnieniu liniowych względem temperatury Θ ograniczeń zapisanych przez następujący zbiór ośmiu nierówności, wyspecyfikowany osobno dla każdego punktu $k = 1,...,K$ odpowiadającego lokalizacji przegubu plastycznego w wybranym do analizy mechanizmie ruchu:

$$\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{22}$$

$$-\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(-\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{23}$$

$$-\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{24}$$

$$\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(-\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{25}$$

$$\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \tag{26}$$

$$-\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(-\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \tag{27}$$

$$-\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \tag{28}$$

6. The formulation of the linear-programming problem

The linear equilibrium conditions (3), (4) and (5), respectively, and the linearised yield criterion(16) facilitate the formulation of the constraints to be used as the basis of the linear-programming problem. Prior to this, however, a specific temperature value of $\Theta = \Theta_0$ must be defined as the reference temperature for further considerations. Then, the critical temperature of Θ_{cr} will be determined by the multiplier $\zeta = \zeta_{cr}$, such that:

$$\Theta_{cr} = \zeta_{cr}\Theta_0 \tag{21}$$

The problem involves, then, the maximisation of the multiplier value ζ, associated in this case with the objective function, with the satisfaction of constraints linear to the temperature of Θ, where the constraints are expressed by the following set of eight inequalities specified separately for each point $k = 1,...,K$ corresponding to plastic-hinge location in the analysed movement mechanism:

$$\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{22}$$

$$-\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(-\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{23}$$

$$-\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{24}$$

$$\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(-\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \tag{25}$$

$$\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \tag{26}$$

$$-\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(-\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \tag{27}$$

$$-\sum_{j=1}^{m} m_{kj}x_{j\Theta} - \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(\sum_{j=1}^{m} n_{kj}x_{j\Theta} + \sum_i n_{ki}^P P_i\right) \le \le W_{pl}\frac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \tag{28}$$

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

$$\sum_{j=1}^{m} m_{kj} x_{j\Theta} + \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(- \sum_{j=1}^{m} n_{kj} x_{j\Theta} - \sum_i n_{ki}^P P_i \right) \le \le W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \left(2{,}04 - 2{,}6 \cdot 10^{-3} \zeta \Theta_0\right) \quad (29)$$

Ograniczenia (22) do (29), wyspecyfikowane dla *k*-tej lokalizacji przegubu plastycznego, wygodnie zapisać w postaci macierzowej:

$$\mathbf{A}_{8xj}\mathbf{X}_{jx1} + \mathbf{B}_{8x1} \le \mathbf{C}_{8x1} \quad (30)$$

gdzie:

$$\mathbf{A}_{8xj} = \begin{bmatrix} m_1 + \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & m_j + \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ -m_1 - \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & -m_j - \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ -m_1 + \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & -m_j + \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ m_1 - \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & m_j - \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ m_1 + \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & m_j + \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ -m_1 - \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & -m_j - \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ -m_1 + \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & -m_j + \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ m_1 - \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & m_j - \frac{W_{pl}}{A} n_j \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$\mathbf{X}_{jx1}^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} x_1 & \dots & x_j \end{bmatrix} \quad (32)$$

$$\mathbf{B}_{8x1} = \begin{bmatrix} \sum_i m_i^P P_i + \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ -\sum_i m_i^P P_i - \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ -\sum_i m_i^P + \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ \sum_i m_i^P P_i - \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ \sum_i m_i^P P_i + \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ -\sum_i m_i^P P_i - \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ -\sum_i m_i^P P_i + \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ \sum_i m_i^P P_i - \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$\sum_{j=1}^{m} m_{kj} x_{j\Theta} + \sum_i m_{ki}^P P_i + \frac{W_{pl}}{A}\left(- \sum_{j=1}^{m} n_{kj} x_{j\Theta} - \sum_i n_{ki}^P P_i \right) \le \le W_{pl} \frac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \left(2{,}04 - 2{,}6 \cdot 10^{-3} \zeta \Theta_0\right) \quad (29)$$

It is convenient to express the constraints (22) to (29), specified for the *k*-st/nd/rd/th location of the plastic hinge, in the form of the matrix:

$$\mathbf{A}_{8xj}\mathbf{X}_{jx1} + \mathbf{B}_{8x1} \le \mathbf{C}_{8x1} \quad (30)$$

where:

$$\mathbf{A}_{8xj} = \begin{bmatrix} m_1 + \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & m_j + \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ -m_1 - \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & -m_j - \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ -m_1 + \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & -m_j + \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ m_1 - \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & m_j - \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ m_1 + \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & m_j + \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ -m_1 - \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & -m_j - \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ -m_1 + \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & -m_j + \frac{W_{pl}}{A} n_j \\ m_1 - \frac{W_{pl}}{A} n_1 & \dots & m_j - \frac{W_{pl}}{A} n_j \end{bmatrix} \quad (31)$$

$$\mathbf{X}_{jx1}^{\mathrm{T}} = \begin{bmatrix} x_1 & \dots & x_j \end{bmatrix} \quad (32)$$

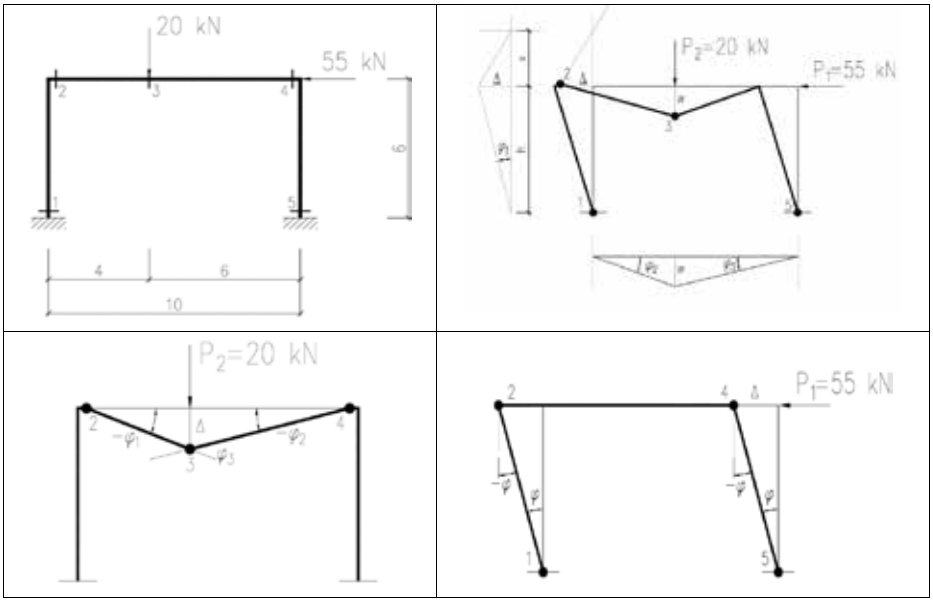
$$\mathbf{B}_{8x1} = \begin{bmatrix} \sum_i m_i^P P_i + \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ -\sum_i m_i^P P_i - \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ -\sum_i m_i^P + \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ \sum_i m_i^P P_i - \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ \sum_i m_i^P P_i + \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ -\sum_i m_i^P P_i - \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ -\sum_i m_i^P P_i + \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \\ \sum_i m_i^P P_i - \frac{W_{pl}}{A} \sum_i n_i^P P_i \end{bmatrix} \quad (33)$$

$$\mathbf{C}_{8x1} = \begin{bmatrix} W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \end{bmatrix} \quad (34)$$

Zbiór ograniczeń stanowi zatem komplet $8 \cdot K$ niezależnych nierówności, gdzie K jest liczbą lokalizacji przegubów plastycznych skojarzonych z wybranym do analizy mechanizmem ruchu. Należy zaznaczyć, że w sformułowaniu zadania pominięto stosunkowo mało znaczący wpływ interakcji *M-V*. Rozwiązaniem zadania programowania liniowego dla wybranego mechanizmu jest więc maksymalna wartość mnożnika ζ, przy której spełnione są jeszcze zdefiniowane powyżej ograniczenia. Oczywiście, w celu oszacowania temperatury krytycznej miarodajnej dla całej ramy, należy najpierw wyznaczyć temperatury krytyczne odpowiadające każdemu spośród mechanizmów kinematycznie dopuszczalnych, a przez to możliwych do realizacji, a następnie porównać wszystkie

$$\mathbf{C}_{8x1} = \begin{bmatrix} W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}} \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \\ W_{pl}\dfrac{f_y}{\gamma_{M,fi}}\left(2{,}04 - 2{,}6\cdot 10^{-3}\zeta\Theta_0\right) \end{bmatrix} \quad (34)$$

A set of constraints is, then, a set of $8 \cdot K$ independent inequalities, where K is the number of plastic-hinge locations associated with the analysed movement mechanism. It is important to note that the problem has been formulated without taking into account the relatively negligible effect of the *M-V* interaction. Hence, the solution of the linear-programming problem for the selected mechanism is the maximum value of multiplier ζ, which also satisfies the above-defined constraints. In order to estimate a critical temperature that is representative of the whole frame, the first thing to do is to determine the critical temperature values that correspond to each of the kinematically admissible, and thereby realisable, mechanisms, and then to compare all the resultant values, and select



Ryc. 4. Geometria, schemat statyczny i obciążenie zewnętrzne rozpatrywanej ramy (u góry z lewej) oraz potencjalnie możliwe mechanizmy jej plastycznego zniszczenia, w szczególności: mechanizm kombinowany generowany przez układ obu sił skupionych (u góry z prawej), mechanizm belkowy generowany jedynie przez siłę pionową (na dole z lewej) i mechanizm przechyłowy generowany jedynie przez siłę poziomą (na dole z prawej)

Fig. 4. Geometry, static scheme, external loads applied to the considered frame (top left) and potentially possible plastic failure mechanisms, in particular the combined mechanism generated by both the concentrated forces (top right), beam mechanism generated by the vertical force only (bottom left) and tilting mechanism generated by the horizontal force only (bottom right)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

otrzymane wartości i wybrać najmniejszą. Będzie to równocześnie wskazanie mechanizmu miarodajnego do osiągnięcia stanu granicznego nośności ogniowej przy założeniu sztywno-plastycznego modelu zniszczenia ramy [11]. Trzeba przy tym przypomnieć, że proponowany algorytm obliczeniowy daje wiarygodne wyniki jedynie wtedy, gdy wynikowa temperatura krytyczna dla każdego rozpatrywanego mechanizmu ruchu jest niższa od wartości granicznej równej 785°C, co wynika bezpośrednio z formuły (10) i ryciny 2.

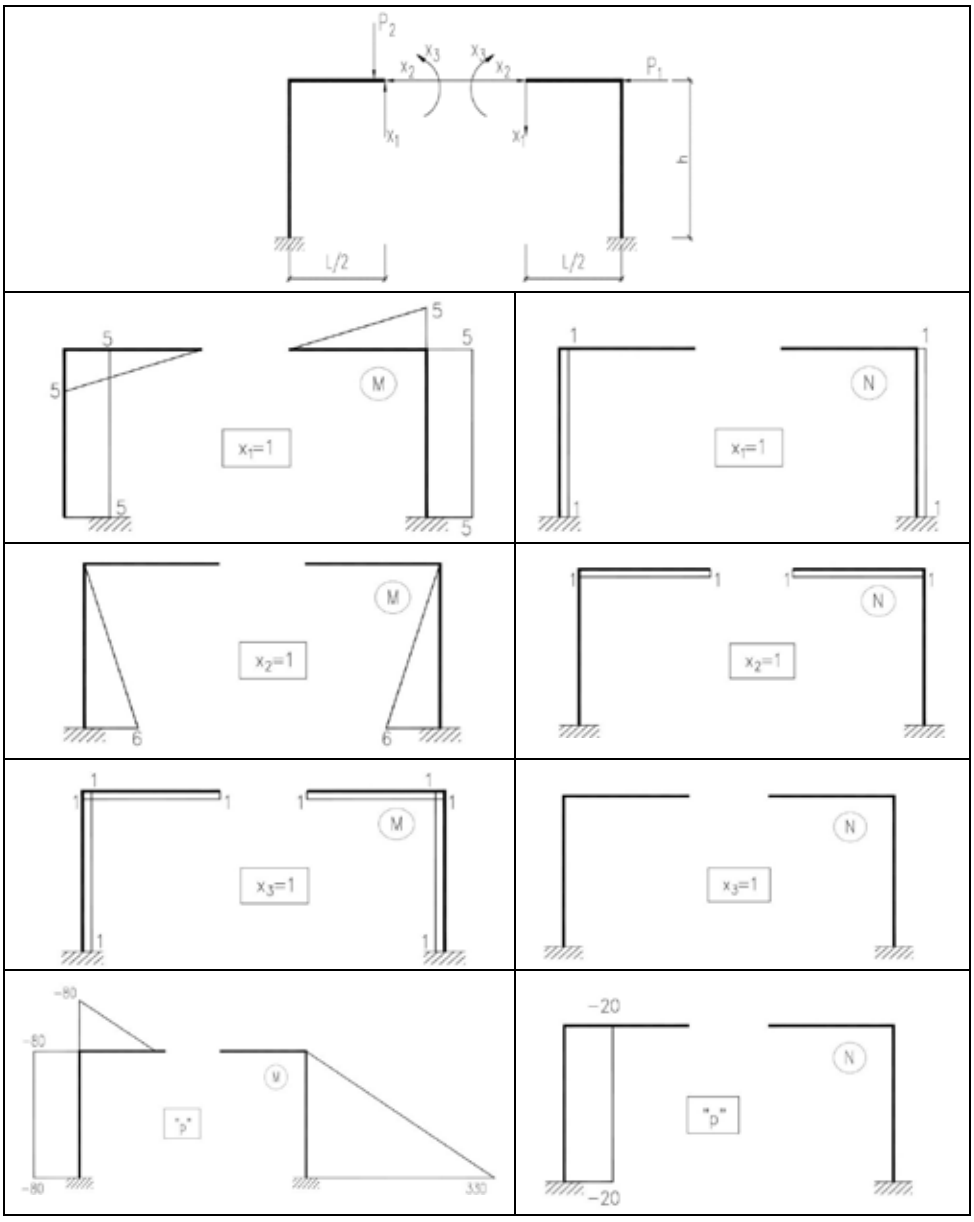
7. Przykład obliczeniowy

W celu ilustracji zasad stosowania proponowanego podejścia obliczeniowego rozważa się prostą ramę stalową o geometrii i schemacie statycznym pokazanych na ryc. 4. Zakłada się, że H = 6,0 m i L = 10,0. Na przytoczonej rycinie zaznaczono również przyłożony do analizowanej ramy

the lowest one. This will, at the same time, indicate the mechanism that is representative of the fire resistance limit state being reached assuming the rigid-plastic model of the frame failure [11]. It is important here to recall that the proposed computational algorithm gives representative results only when the resultant critical temperature for each considered movement mechanism is lower than the limit value of 785°C, as directly inferable from the formula (10) and Figure 2.

7. Sample computation

To illustrate how the proposed computational approach is applied, a simple steel frame is considered with a geometry and static scheme as shown in Figure 4. It is assumed that H = 6,0 m and L = 10,0. The Figure also shows the arrangement of external loads applied to the analysed frame, with the loads' being specified by two concentrated forces – the



Ryc. 5. Przyjęty do analizy zastępczy statycznie wyznaczalny schemat statyczny oraz wykresy momentów zginających (z lewej) i sił podłużnych (z prawej), pochodzących kolejno: od sił hiperstatycznych o wartości jednostkowej i od obciążenia zewnętrznego
Fig. 5. The substitute statically determinate static scheme assumed for the analysis and diagrams of bending moments (on the left) and longitudinal forces (on the right), due to unit hyperstatic forces and external loads, respectively
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 99–120
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

układ obciążeń zewnętrznych specyfikowany poprzez dwie skupione siły, odpowiednio poziomą o wartości P_1 = 55,0 kN i pionową o wartości P_2 = 20,0 kN. Pokazano także potencjalne przekroje krytyczne z lokalizacją oznaczoną kolejnymi cyframi arabskimi (od 1 do 5). W przekrojach tych (i tylko w tych) w czasie pożaru mogą aktywować się przeguby plastyczne. Zarówno słupy, jak i rygle ramy wykonano z dwuteownika *IPE 300*, dla którego plastyczna nośność przekroju określona dla warunków podstawowej sytuacji projektowej wynosi M_{pl} = 146,50 kNm (przy czym: W_{pl} = 628 mm^3, A = 53,80 mm^2 (W_{pl}/A = 0,012). Łatwo wykazać, że rama bezpiecznie przenosi przyłożone obciążenia w podstawowej sytuacji projektowej (bez uwzględniania wpływu pożaru).

Celem niniejszego przykładu jest wyznaczenie mechanizmu krytycznego ze względu na oddziaływanie pożarowe oraz towarzyszącej temu mechanizmowi temperatury krytycznej badanej ramy. Zakłada się, że pożar w strefie pożarowej mieszczącej analizowaną ramę uległ wcześniejszemu rozgorzeniu, a więc osiągnął status pożaru rozwiniętego, co skutkuje wyrównaną i monotonicznie rosnącą temperaturą gazów spalinowych. Zadanie zostanie rozwiązane przy pomocy dwóch jakościowo różnych podejść obliczeniowych, co umożliwi weryfikację uzyskanych wyników.

Pierwszym z rozpatrywanych algorytmów jest ten, opisany w szczegółach w niniejszej pracy, w którym zastosowano klasyczne reguły programowania liniowego. Na ryc. 5 zaprezentowano zastosowany w obliczeniach zastępczy schemat statyczny oraz sposób wyznaczania wartości sił hiperstatycznych. Przykładowo, dla mechanizmu belkowego (przeguby plastyczne indukowane w punktach 2, 3 i 4) otrzymano następujące ograniczenia:

- specyfikowane dla punktu 2:

$$\mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} 5\cdot x_1 + 0 + 0 - 0.012\cdot x_2 + x_3 + 0 \\ -5\cdot x_1 - 0 - 0 + 0.012\cdot x_2 - x_3 - 0 \\ -5\cdot x_1 + 0 - 0 - 0.012\cdot x_2 - x_3 + 0 \\ 5\cdot x_1 - 0 + 0 + 0.012\cdot x_2 + x_3 - 0 \\ 5\cdot x_1 + 0 + 0 - 0.012\cdot x_2 + x_3 + 0 \\ -5\cdot x_1 - 0 - 0 + 0.012\cdot x_2 - x_3 - 0 \\ -5\cdot x_1 + 0 - 0 - 0.012\cdot x_2 - x_3 + 0 \\ 5\cdot x_1 - 0 + 0 + 0.012\cdot x_2 + x_3 - 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 5\cdot x_1 - 0.012\cdot x_2 + x_3 \\ -5\cdot x_1 + 0.012\cdot x_2 - x_3 \\ -5\cdot x_1 - 0.012\cdot x_2 - x_3 \\ 5\cdot x_1 + 0.012\cdot x_2 + x_3 \\ 5\cdot x_1 - 0.012\cdot x_2 + x_3 \\ -5\cdot x_1 + 0.012\cdot x_2 - x_3 \\ -5\cdot x_1 - 0.012\cdot x_2 - x_3 \\ 5\cdot x_1 + 0.012\cdot x_2 + x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} -80 \\ 80 \\ 80 \\ -80 \\ -80 \\ 80 \\ 80 \\ -80 \end{bmatrix}$$

horizontal force of P_1 = 55,0 kN and the vertical force of P_2 = 20,0 kN, respectively. It also shows critical cross-sections, with their locations marked with Arabic numerals (1 to 5). Plastic hinges can form in these (and only these) cross-sections during the fire. Both the beams and columns of this frame are made of the *IPE 300* I-beam, for which the cross-sectional plastic bending resistance, as defined for the persistent design situation conditions, is M_{pl} = 146,50 kNm (with: W_{pl} = 628 mm^3, A = 53,80 mm^2, (W_{pl}/A = 0,012). It is easy to demonstrate that the frame safely transfers the applied loads in the persistent design situation (without taking the fire into account).

This example is performed to define the mechanism that is critical due to the effect of fire and to evaluate the critical temperature of the analysed frame that accompanies this mechanism. It is assumed that the fire in the fire zone of which the analysed frame is part flashed over earlier, so it reached the status of a fully developed fire, thus resulting in an equal and monotonically rising exhaust-gas temperature. The problem will be solved using two qualitatively different computational approaches so that the results can be verified.

The first considered algorithm, described in detail by this article, is the one which uses the classical principles of linear programming. Figure 5 illustrates the substitute static diagram used in the computations and also shows how the hyperstatic forces are defined. For instance, the following constraints have been obtained for the beam mechanism (plastic hinges induced in points 2, 3 and 4):

- specified for point 2:

$$\mathbf{A}_2 = \begin{bmatrix} 5\cdot x_1 + 0 + 0 - 0.012\cdot x_2 + x_3 + 0 \\ -5\cdot x_1 - 0 - 0 + 0.012\cdot x_2 - x_3 - 0 \\ -5\cdot x_1 + 0 - 0 - 0.012\cdot x_2 - x_3 + 0 \\ 5\cdot x_1 - 0 + 0 + 0.012\cdot x_2 + x_3 - 0 \\ 5\cdot x_1 + 0 + 0 - 0.012\cdot x_2 + x_3 + 0 \\ -5\cdot x_1 - 0 - 0 + 0.012\cdot x_2 - x_3 - 0 \\ -5\cdot x_1 + 0 - 0 - 0.012\cdot x_2 - x_3 + 0 \\ 5\cdot x_1 - 0 + 0 + 0.012\cdot x_2 + x_3 - 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 5\cdot x_1 - 0.012\cdot x_2 + x_3 \\ -5\cdot x_1 + 0.012\cdot x_2 - x_3 \\ -5\cdot x_1 - 0.012\cdot x_2 - x_3 \\ 5\cdot x_1 + 0.012\cdot x_2 + x_3 \\ 5\cdot x_1 - 0.012\cdot x_2 + x_3 \\ -5\cdot x_1 + 0.012\cdot x_2 - x_3 \\ -5\cdot x_1 - 0.012\cdot x_2 - x_3 \\ 5\cdot x_1 + 0.012\cdot x_2 + x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_2 = \begin{bmatrix} -80 \\ 80 \\ 80 \\ -80 \\ -80 \\ 80 \\ 80 \\ -80 \end{bmatrix}$$

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

$$\mathbf{C}_2 = \begin{bmatrix} 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_2 = \begin{bmatrix} 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \end{bmatrix}$$

- specyfikowane dla punktu 3:

$$\mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} x_1+0+0-0.012\cdot x_2+x_3+0 \\ -x_1-0-0+0.012\cdot x_2-x_3-0 \\ -x_1+0-0-0.012\cdot x_2-x_3+0 \\ x_1-0+0+0.012\cdot x_2+x_3-0 \\ x_1+0+0-0.012\cdot x_2+x_3+0 \\ -x_1-0-0+0.012\cdot x_2-x_3-0 \\ -x_1+0-0-0.012\cdot x_2-x_3+0 \\ x_1-0+0+0.012\cdot x_2+x_3-0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} x_1-0.012\cdot x_2+x_3 \\ -x_1+0.012\cdot x_2-x_3 \\ -x_1-0.012\cdot x_2-x_3 \\ x_1+0.012\cdot x_2+x_3 \\ x_1-0.012\cdot x_2+x_3 \\ -x_1+0.012\cdot x_2-x_3 \\ -x_1-0.012\cdot x_2-x_3 \\ x_1+0.012\cdot x_2+x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

- specified for point 3:

$$\mathbf{A}_3 = \begin{bmatrix} x_1+0+0-0.012\cdot x_2+x_3+0 \\ -x_1-0-0+0.012\cdot x_2-x_3-0 \\ -x_1+0-0-0.012\cdot x_2-x_3+0 \\ x_1-0+0+0.012\cdot x_2+x_3-0 \\ x_1+0+0-0.012\cdot x_2+x_3+0 \\ -x_1-0-0+0.012\cdot x_2-x_3-0 \\ -x_1+0-0-0.012\cdot x_2-x_3+0 \\ x_1-0+0+0.012\cdot x_2+x_3-0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} x_1-0.012\cdot x_2+x_3 \\ -x_1+0.012\cdot x_2-x_3 \\ -x_1-0.012\cdot x_2-x_3 \\ x_1+0.012\cdot x_2+x_3 \\ x_1-0.012\cdot x_2+x_3 \\ -x_1+0.012\cdot x_2-x_3 \\ -x_1-0.012\cdot x_2-x_3 \\ x_1+0.012\cdot x_2+x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_3 = \begin{bmatrix} 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \end{bmatrix}$$

- specyfikowane dla punktu 4:

$$\mathbf{A}_4 = \begin{bmatrix} 0+0+0-0.012\cdot x_2+x_3+0 \\ 0-0-0+0.012\cdot x_2-x_3-0 \\ 0+0-0-0.012\cdot x_2-x_3+0 \\ 0-0+0+0.012\cdot x_2+x_3-0 \\ 0+0+0-0.012\cdot x_2+x_3+0 \\ 0-0-0+0.012\cdot x_2-x_3-0 \\ 0+0-0-0.012\cdot x_2-x_3+0 \\ 0-0+0+0.012\cdot x_2+x_3-0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.012\cdot x_2+x_3 \\ 0.012\cdot x_2-x_3 \\ -0.012\cdot x_2-x_3 \\ 0.012\cdot x_2+x_3 \\ -0.012\cdot x_2+x_3 \\ 0.012\cdot x_2-x_3 \\ -0.012\cdot x_2-x_3 \\ 0.012\cdot x_2+x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \end{bmatrix} =$$

$$\mathbf{C}_3 = \begin{bmatrix} 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \\ 301.063-0.384\theta \end{bmatrix}$$

- specified for point 4:

$$\mathbf{A}_4 = \begin{bmatrix} 0+0+0-0.012\cdot x_2+x_3+0 \\ 0-0-0+0.012\cdot x_2-x_3-0 \\ 0+0-0-0.012\cdot x_2-x_3+0 \\ 0-0+0+0.012\cdot x_2+x_3-0 \\ 0+0+0-0.012\cdot x_2+x_3+0 \\ 0-0-0+0.012\cdot x_2-x_3-0 \\ 0+0-0-0.012\cdot x_2-x_3+0 \\ 0-0+0+0.012\cdot x_2+x_3-0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -0.012\cdot x_2+x_3 \\ 0.012\cdot x_2-x_3 \\ -0.012\cdot x_2-x_3 \\ 0.012\cdot x_2+x_3 \\ -0.012\cdot x_2+x_3 \\ 0.012\cdot x_2-x_3 \\ -0.012\cdot x_2-x_3 \\ 0.012\cdot x_2+x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_4 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_4 = \begin{bmatrix} 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3} \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \\ 628\cdot10^{-6}\cdot235\cdot10^{3}\cdot\left(2.04-2.6\cdot10^{-3}\theta\right) \end{bmatrix} =$$

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

$$= \begin{bmatrix} 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \end{bmatrix}$$

Analiza mechanizmu przechyłowego (przeguby w punktach 1, 2, 4 i 5) daje odpowiednio:

- ograniczenia specyfikowane dla punktu 1

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 0 + x_3 + 0 \\ -5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - 0 - x_3 - 0 \\ -5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 + 0 - x_3 + 0 \\ 5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 - 0 + x_3 - 0 \\ 5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 0 + x_3 + 0 \\ -5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - 0 - x_3 - 0 \\ -5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 + 0 - x_3 + 0 \\ 5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 - 0 + x_3 - 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 5.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ -5.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ -4.988 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ 4.988 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ 5.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ -5.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ -4.988 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ 4.988 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} -80 - 0.012 \cdot 20 \\ 80 + 0.012 \cdot 20 \\ 80 - 0.012 \cdot 20 \\ -80 + 0.012 \cdot 20 \\ -80 - 0.012 \cdot 20 \\ 80 + 0.012 \cdot 20 \\ 80 - 0.012 \cdot 20 \\ -80 + 0.012 \cdot 20 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -80.24 \\ 80.24 \\ 79.76 \\ -79.76 \\ -80.24 \\ 80.24 \\ 79.76 \\ -79.76 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot \left(2.04 - 2.6 \cdot 10^{-3}\theta\right) \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot \left(2.04 - 2.6 \cdot 10^{-3}\theta\right) \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot \left(2.04 - 2.6 \cdot 10^{-3}\theta\right) \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot \left(2.04 - 2.6 \cdot 10^{-3}\theta\right) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \end{bmatrix}$$

An analysis of the tilting mechanism (hinges in points 1, 2, 4 and 5) yields (respectively):

- constraints specified for point 1:

$$\mathbf{A}_1 = \begin{bmatrix} 5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 0 + x_3 + 0 \\ -5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - 0 - x_3 - 0 \\ -5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 + 0 - x_3 + 0 \\ 5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 - 0 + x_3 - 0 \\ 5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 0 + x_3 + 0 \\ -5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - 0 - x_3 - 0 \\ -5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 + 0 - x_3 + 0 \\ 5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 - 0 + x_3 - 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 5.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ -5.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ -4.988 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ 4.988 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ 5.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ -5.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ -4.988 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ 4.988 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_1 = \begin{bmatrix} -80 - 0.012 \cdot 20 \\ 80 + 0.012 \cdot 20 \\ 80 - 0.012 \cdot 20 \\ -80 + 0.012 \cdot 20 \\ -80 - 0.012 \cdot 20 \\ 80 + 0.012 \cdot 20 \\ 80 - 0.012 \cdot 20 \\ -80 + 0.012 \cdot 20 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -80.24 \\ 80.24 \\ 79.76 \\ -79.76 \\ -80.24 \\ 80.24 \\ 79.76 \\ -79.76 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C}_1 = \begin{bmatrix} 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot \left(2.04 - 2.6 \cdot 10^{-3}\theta\right) \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot \left(2.04 - 2.6 \cdot 10^{-3}\theta\right) \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot \left(2.04 - 2.6 \cdot 10^{-3}\theta\right) \\ 628 \cdot 10^{-6} \cdot 235 \cdot 10^3 \cdot \left(2.04 - 2.6 \cdot 10^{-3}\theta\right) \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \end{bmatrix}$$

- ograniczenia specyfikowane dla punktów 2 i 4 są analogiczne jak przy mechanizmie belkowym,
- ograniczenia specyfikowane dla punktu 5:

$$\mathbf{A}_5 = \begin{bmatrix} -5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 0 + x_3 + 0 \\ 5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - 0 - x_3 - 0 \\ 5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 + 0 - x_3 + 0 \\ -5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 - 0 + x_3 - 0 \\ -5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 0 + x_3 + 0 \\ 5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - 0 - x_3 - 0 \\ 5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 + 0 - x_3 + 0 \\ -5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 - 0 + x_3 - 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} -5.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ 5.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ 4.988 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ -4.988 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ -5.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ 5.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ 4.988 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ -4.988 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_5 = \begin{bmatrix} 330 \\ -330 \\ -330 \\ 330 \\ 330 \\ -330 \\ -330 \\ 330 \end{bmatrix}$$

Kolejnym analizowanym sposobem plastycznego zniszczenia ramy był mechanizm kombinowany (przeguby w punktach 1, 2, 3 i 5). Ograniczenia odpowiadające poszczególnym punktom krytycznym są analogiczne do tych przytoczonych powyżej.

Rozwiązanie powyższych układów nierówności uzyskano dzięki wykorzystaniu środowiska obliczeniowego „Solver", stanowiącego integralną część programu „Microsoft Excel". Otrzymano następujące wyniki:

- dla mechanizmu belkowego – temperatura krytyczna na poziomie $\Theta_{a,cr} = 763^{\circ}\mathrm{C}$,

$$= \begin{bmatrix} 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 147.58 \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \\ 301.063 - 0.384\theta \end{bmatrix}$$

- constrains specified for points 2 and 4 correspond to the beam-mechanism constraints;
- constraints specified for point 5:

$$\mathbf{A}_5 = \begin{bmatrix} -5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 0 + x_3 + 0 \\ 5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - 0 - x_3 - 0 \\ 5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 + 0 - x_3 + 0 \\ -5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 - 0 + x_3 - 0 \\ -5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + 0 + x_3 + 0 \\ 5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - 0 - x_3 - 0 \\ 5 \cdot x_1 - 0.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 + 0 - x_3 + 0 \\ -5 \cdot x_1 + 0.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 - 0 + x_3 - 0 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} -5.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ 5.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ 4.988 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ -4.988 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ -5.012 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \\ 5.012 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ 4.988 \cdot x_1 - 6 \cdot x_2 - x_3 \\ -4.988 \cdot x_1 + 6 \cdot x_2 + x_3 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}_5 = \begin{bmatrix} 330 \\ -330 \\ -330 \\ 330 \\ 330 \\ -330 \\ -330 \\ 330 \end{bmatrix}$$

Another analysed way in which the frame can fail is the combined mechanism (hinges in points 1, 2, 3 and 5). The constraints corresponding to individual critical points correspond to the constraints mentioned above.

The solution to these systems of equations has been provided by the "Solver" add-in program available in Microsoft Excel. This yielded the following results

- for the beam mechanism – a critical temperature of $\Theta_{a,cr} = 763^{\circ}\mathrm{C}$,

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.8

- dla mechanizmu przechyłowego – temperatura krytyczna na poziomie $\Theta_{a,cr} = 674^{\circ}\mathrm{C}$,
- dla mechanizmu kombinowanego – temperatura krytyczna na poziomie $\Theta_{a,cr} = 705^{\circ}\mathrm{C}$.

Powyższe wyniki pozwalają na wybór mechanizmu przechyłowego jako tego, który jest miarodajny dla rozpatrywanej ramy, a uzyskana dla niego wartość temperatury może być interpretowana jako poszukiwana temperatura krytyczna.

Oczywiście analogiczny wynik co do wyboru mechanizmu krytycznego można otrzymać znacznie szybciej, stosując klasyczne podejście kinematyczne. Należy jednak zauważyć, że uzyskane tą drogą oszacowania temperatury krytycznej będą ilościowo różne. Dostajemy bowiem (patrz ryc. 4):

- dla mechanizmu belkowego:

$$\varphi_1 = \frac{\Delta}{4} \Rightarrow \Delta = 4\varphi_1 \quad \varphi_2 = \frac{\Delta}{6} = \frac{4\varphi_1}{6}$$
$$\varphi_3 = \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_1 + \frac{4\varphi_1}{6} = \frac{5}{3}\varphi_1$$

co daje: $(-M_2\varphi_1 + M_3\varphi_3 - M_4\varphi_2)k_{y,\Theta} = P_2\Delta$

stąd: $k_{y,\Theta} = 0.163 \Rightarrow \Theta = 756^{\circ}\mathrm{C}$

- dla mechanizmu przechyłowego:

$$\varphi = \frac{\Delta}{6} \Rightarrow \Delta = 6\varphi$$

co daje: $(M_1\varphi - M_2\varphi + M_4\varphi - M_5\varphi)k_{y,\Theta} = P_1\Delta$

stąd: $k_{y,\Theta} = 0.559 \Rightarrow \Theta = 571^{\circ}\mathrm{C}$

- dla mechanizmu kombinowanego:

$$\varphi_1 = \frac{\Delta}{h} \Rightarrow \Delta = 6\varphi_1 \quad \varphi_2 = \frac{\Delta}{x} \Rightarrow \varphi_2 = \frac{3}{2}\varphi_1 \quad \varphi_3 = \frac{w}{0.6L} \Rightarrow \varphi_3 = \varphi_1 \quad \varphi_1 = \varphi$$

co daje: $\left(M_1\varphi - \frac{5}{2}M_2\varphi + \frac{5}{2}M_3\varphi - M_5\varphi\right)k_{y,\Theta} = P_1\Delta + P_2 w$

stąd: $k_{y,\Theta} = 0.436 \Rightarrow \Theta = 614^{\circ}\mathrm{C}$

8. Uwagi końcowe

Przedstawiony powyżej algorytm szacowania temperatury krytycznej ramy stalowej oparty na technice programowania liniowego łączy w sobie klasyczne podejścia statyczne i kinematyczne teorii nośności granicznej. Z jednej strony związana z podejściem kinematycznym analiza poszczególnych kinematycznie dopuszczalnych mechanizmów ruchu sama w sobie prowadzi do oszacowań tej nośności na ogół lokowanych po stronie niebezpiecznej względem jej wartości rzeczywistej (czyli inaczej mówiąc zawyżonych). Oznacza to, że wyznaczona na podstawie tego typu procedury temperatura krytyczna ustroju nośnego, odpowiadająca takiej zawyżonej nośności, będzie wartością zaniżoną, którą trzeba traktować jedynie jako dolną akceptowalną granicę jej przybliżenia. Z drugiej strony bazujące na podejściu statycznym obliczenia uwzględniające rezerwę nośności ustroju wynikającą z redystrybucji momentów zginających dają w stosunku do szacowanej nośności granicznej rozwiązania co prawda interpretowane jako te, które są zawsze bezpieczne, ale za to często ilościowo niedoszacowane. A zatem, wyliczona na ich podstawie temperatura krytyczna badanej ramy powinna zostać potraktowana raczej jako graniczne górne oszacowanie poszukiwanej wartości. W prezentowanym algorytmie ograniczenia specyfikuje się z wykorzystaniem twierdzeń klasycznego podejścia statycznego. Z tego podejścia wynika również sama zasada maksymalizacji mnożnika ζ. Wyboru temperatury miarodajnej dokonuje się jednak dopiero po porównaniu wszystkich rozwiązań, z których każde dotyczy innego, kinematycznie możliwego mechanizmu

- for the tilting mechanism – a critical temperature of $\Theta_{a,cr} = 674^{\circ}\mathrm{C}$,
- for the combined mechanism – a critical temperature of $\Theta_{a,cr} = 705^{\circ}\mathrm{C}$.

Based on these results, the tilting mechanism can be chosen as being representative of the considered frame and the temperature value established for it can be interpreted as the critical temperature sought.

A corresponding result with regard to the choice of the critical mechanism can be arrived at much faster by using the classical kinematic approach. It is important to note, however, that the critical-temperature estimates so obtained will be qualitatively different. Accordingly, the result (see Figure 4)

- for the beam mechanism is:

$$\varphi_1 = \frac{\Delta}{4} \Rightarrow \Delta = 4\varphi_1 \quad \varphi_2 = \frac{\Delta}{6} = \frac{4\varphi_1}{6}$$
$$\varphi_3 = \varphi_1 + \varphi_2 = \varphi_1 + \frac{4\varphi_1}{6} = \frac{5}{3}\varphi_1$$

resulting in: $(-M_2\varphi_1 + M_3\varphi_3 - M_4\varphi_2)k_{y,\Theta} = P_2\Delta$

thus: $k_{y,\Theta} = 0.163 \Rightarrow \Theta = 756^{\circ}\mathrm{C}$

- for the tilting mechanism:

$$\varphi = \frac{\Delta}{6} \Rightarrow \Delta = 6\varphi$$

resulting in: $(M_1\varphi - M_2\varphi + M_4\varphi - M_5\varphi)k_{y,\Theta} = P_1\Delta$

thus: $k_{y,\Theta} = 0.559 \Rightarrow \Theta = 571^{\circ}\mathrm{C}$

- for the combined mechanism:

$$\varphi_1 = \frac{\Delta}{h} \Rightarrow \Delta = 6\varphi_1 \quad \varphi_2 = \frac{\Delta}{x} \Rightarrow \varphi_2 = \frac{3}{2}\varphi_1 \quad \varphi_3 = \frac{w}{0.6L} \Rightarrow \varphi_3 = \varphi_1 \quad \varphi_1 = \varphi$$

resulting in: $\left(M_1\varphi - \frac{5}{2}M_2\varphi + \frac{5}{2}M_3\varphi - M_5\varphi\right)k_{y,\Theta} = P_1\Delta + P_2 w$

thus: $k_{y,\Theta} = 0.436 \Rightarrow \Theta = 614^{\circ}\mathrm{C}$

8. Concluding remarks

The above-discussed linear-programming based algorithm for the estimation of the steel-frame critical temperature combines the classical static and kinematic approaches of the plastic limit load theory. On the one hand, the kinematic-approach related analysis of individual kinematically admissible movement mechanisms in and of itself leads to estimates of this load usually located on the dangerous side in relation to its actual value (in other words, it leads to overestimates). This means that the critical temperature of the load bearing structure defined through this procedure, corresponding to such an overestimated load, will be an underestimated value, which should be considered as the lower acceptable limit of its approximation. On the other hand, the static-approach based computations that factor in the reserve of load bearing capacity of the structure resulting from bending-moment redistribution provide solutions for the limit load to be estimated which, while interpreted as the ones that are always safe, are often quantitatively underestimated. By extension, the critical temperature of the analysed frame established on the basis of such computations should instead be considered as the upper limit estimate of the value sought. For the proposed algorithm, constraints are specified using the rules of the classical static approach. Consequent to this approach is also the principle of the maximisation of multiplier ζ. A representative temperature is not selected, however, until all the solutions have been compared, with each solution relating to a different, kinematically possible movement mechanism.

ruchu. Wybór temperatury minimalnej spośród wszystkich wartości zgromadzonych w pierwszym etapie obliczeń stanowi formalne wykorzystanie twierdzeń podejścia kinematycznego.

Należy zauważyć, że obydwa podejścia przytoczone w przykładzie obliczeniowym wskazały jako miarodajny taki sam, czyli przechyłowy, mechanizm plastycznego zniszczenia ramy. Z zastosowania formalizmu programowania liniowego wynika jednak temperatura krytyczna oszacowana na poziomie $\Theta_{a,cr} = 674^0$C, z podejścia czysto kinematycznego natomiast temperatura znacznie niższa, czyli $\Theta_{a,cr} = 571^0$C. W świetle uwag przytoczonych powyżej pierwsze z tych oszacowań jest zdaniem autorów bardziej wiarygodne, drugie natomiast powinno zostać opatrzone ilościowym kwantyfikatorem „co najmniej".

Rekomendowana w tym artykule procedura obliczeniowa jest jakościowo różna od analogicznej procedury bazującej na formalizmie programowania liniowego i zaproponowanej przez Králika i Vargę [12]. W pracy tych autorów w celu oszacowania odporności ogniowej ramy stalowej rozwiązuje się bowiem osobno zadania specyfikowane dla podejścia statycznego i kinematycznego, a następnie określa przedział wartości, wewnątrz którego spodziewana jest lokalizacja faktycznej odporności rozpatrywanego ustroju. W algorytmie zaproponowanym w niniejszym artykule, prowadzącym do oszacowania dla badanej ramy jednoznacznie do niej odniesionej temperatury krytycznej, oba podejścia zostały włączone do jednej wspólnej procedury, co czyni ją w rozumieniu autorów łatwiejszą w zastosowaniu i czytelniejszą w interpretacji.

The selection of the minimum temperature from among all the values collected in the first computation stage represents a formal use of the rules of the kinematic approach.

It should be noted that both approaches mentioned in the sample computation indicated the same mechanism – i.e. the tilting mechanism – as the representative mechanism of the plastic failure of the frame. However, the use of the linear-programming formalism leads to an estimated critical temperature of $\Theta_{a,cr} = 674^0$C, whereas the purely kinematic approach produces the much lower temperature of $\Theta_{a,cr} = 571^0$. Considering the above, the authors of this article consider the former of the estimates to be more representative, whereas the latter should be provided with the qualitative quantifier of "at least".

The computational procedure recommended in this article is qualitatively different from the corresponding procedure based on the linear-programming formalism as proposed by Králik and Varga [12]. Indeed, in order to estimate the steel frame fire resistance, Králik and Varga recommend solving the problems specified for the static and kinematic approach separately, followed by determining the value interval within which the actual fire resistance of the considered structure is expected to be located. The algorithm proposed in this article, which aims to estimate for the analysed frame a critical temperature unambiguously relating to the frame, incorporates both approaches into a joint procedure, which is, in our view, easier to apply and interpret.

Literatura / Literature

[1] Maślak M., *Temperatura krytyczna konstrukcji stalowej*, „Ochrona Przeciwpożarowa" 2014, (48)2, 2-7.

[2] Maślak M., Tkaczyk A., *Fire resistance of simple steel frame – kinematic approach to evaluation*, w: *Proceedings of the 6th European Conference on Steel and Composite Structures "Eurosteel 2011"*, L. Dunai, M. Iványi, K. Jármai, N. Kovács, L. Gergely Vigh (eds.), Budapest, Hungary, August 31 – September 2, 2011, Vol. B, 1497-1502.

[3] Maślak M., Tkaczyk A., *Oszacowanie nośności granicznej ramy stalowej w pożarze rozwiniętym*, „Inżynieria i Budownictwo" 2012, 3, 160-163.

[4] Maślak M., Tkaczyk A., *Critical temperature of pitched-roof steel frame. Semi-graphic approach to evaluation for fire conditions*, w: *Proceedings of the 7th European Conference on Steel and Composite Structures "Eurosteel 2014"*, R. Landolfo, F.M. Mazzolani (eds.), Napoli, September 10-12, 2014, 821-822, 6.

[5] Maślak M., Tkaczyk A., *A semi-graphic approach to the fire resistance assessment of a gable steel frame*, "Czasopismo Techniczne" 2014, 6B, 67-82.

[6] Grabowski W., *Programowanie matematyczne*, Państwowe Wydawnictwa Ekonomiczne, Warszawa 1982.

[7] Maślak M., Pazdanowski M., Tkaczyk A., *Fire resistance evaluation of a sway frame load-bearing structure using the linear programming*, w: *Recent progress in steel and composite structures, Proceedings of the 13th International Conference on Metal Structures (ICMS 2016)*, M. Giżejowski, A. Kozłowski, J. Marcinowski, J. Ziółko (eds.), Zielona Góra, 15-17.06.2016, Taylor & Francis Group, abstract 138-139, paper CD 323-330,

[8] Aribert J.M., Kruppa J., *Détermination par programation linéaire de champs de temperatures critiques dans des structures soumises a un incendie*, "Construction Métallique" 1978, 1, 3-16,

[9] PN-EN 1993-1-2. Eurokod 3: Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne – Obliczanie konstrukcji z uwagi na warunki pożarowe.

[10] PN-EN 1991-1-2. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.

[11] Maślak M., Tkaczyk A., *Identyfikacja krytycznego kinematycznego mechanizmu zniszczenia plastycznego ogarniętej pożarem stalowej ramy portalowej*, „Inżynieria i Budownictwo", 2015, 2, 103-107,

[12] Králik J., Varga T., *Deterministic and probability analysis of fire resistance of a steel portal frame with tapered members*, w: *Safety and Reliability for Managing Risk, Proceedings of the 15th European Safety and Reliability Conference "ESREL 2006"*, C. Guedes Soares, E. Zio (eds.), Estoril, Portugal, September 18-22, 2006, CRC Press.

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.44.4.2016.8

* * *

dr hab. inż. Mariusz Maślak, prof. PK – profesor nadzwyczajny w Katedrze Konstrukcji Metalowych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Zajmuje się kształtowaniem, utrzymaniem i weryfikacją stanu bezpieczeństwa różnego typu stalowych ustrojów nośnych ze szczególnym uwzględnieniem zachowania się tego typu konstrukcji w warunkach ekspozycji ogniowej. Członek International Association for Fire Safety Science (IAFSS). Z ramienia Polski członek Technical Committee 3 (TC3): "Fire Safety" przy European Convention for Constructional Steelwork (ECCS), a także członek Komitetu Technicznego CEN TC 250/SC3: „Evolution Group Eurocode 3, Part 1-2". W latach 2010-2014 członek Komitetu Zarządzającego Międzynarodowego Projektu Badawczego COST TU0904 „Integrated Fire Engineering and Response". Od roku 2014 członek Komitetu Zarządzającego Międzynarodowego Projektu Badawczego COST TU1402 „Quantifying the Value of Structural Health Monitoring. Kierownik grantu badawczego własnego N N506 243938 „Miary bezpieczeństwa i ich wzajemne relacje w wyjątkowej sytuacji projektowej pożaru rozwiniętego" (również w latach 2010-2014).
Maślak Mariusz, Ph.D., D.Sc.Eng, prof. CUT – associate Professor at the Chair of Metal Structures of the Faculty of Civil Engineering, Cracow University of Technology. His focus areas are the development, maintenance and verification of the safety of various types of steel load bearing structures, including in particular the behaviour of such structures when exposed to fire. A member of the International Association for Fire Safety Science (IAFSS). A member of the Technical Committee 3 (TCS): "Fire Safety" of the European Convention for Constructional Steelwork (ECCS) representing Poland, and also a member of the Technical Committee CEN TC 250/SC3: "Evolution Group Eurocode 3, Part 1-2". Between 2010 and 2014 he was a member of the Managing Committee of the International Research Project COST TU0904 "Integrated Fire Engineering and Response". A member of the Managing Committee of the International Research Project COST TU1402 "Quantifying the Value of Structural Health Monitoring". Manager of the project N N506 243938 funded by the Polish Ministry of Science and Higher Education called "Measures of safety and their interrelations in an accidental situation of a fully developed fire" (including between 2010 and 2014).

mgr inż. Anna Tkaczyk – uprawniony projektant budowlany. Absolwentka studiów doktoranckich prowadzonych w Politechnice Świętokrzyskiej. Prowadzi własne biuro budowlane Bauko S.C. Obecnie pracuje nad rozprawą doktorską *Nośność graniczna stalowych ustrojów ramowych w pożarze rozwiniętym – oszacowanie metodą kinematyczną*.
Anna Tkaczyk, M.Sc.Eng. – licensed construction designer. Graduated from a doctoral programme at the Kielce University of Technology. She runs her own construction studio Bauko S.C. Currently, she is working on her doctoral dissertation on *The plastic limit load of steel frame structures in a fully developed fire – a kinematic-method estimation*.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 121–129

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.9

dr hab. inż. **Mariusz Maślak**, prof. PK[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 17.01.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 23.08.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Miarodajna gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej – wartość nominalna z pojedynczej inwentaryzacji czy raczej statystycznie uzasadniona wartość charakterystyczna

Authoritative Fire Load Density Value at a Building Compartment – Nominal Value Taken From a Single Inventory or, Alternatively, a Characteristic Value Statistically Deduced

Достоверное значение плотности пожарной нагрузки в пожарной зоне – номинальное значение с одиночной инвентаризации или скорее статистически обоснованное характеристическое значение

ABSTRAKT

Cel: Przedstawiono dwa alternatywne podejścia do specyfikacji miarodajnej wartości gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej. Gęstość ta zależy od nagromadzonych w rozpatrywanej strefie materiałów palnych i determinuje intensywność pożaru, który w tej strefie może rozgorzeć. Za miarodajną uznaje się wartość reprezentatywną dla założonego charakteru użytkowania strefy. Decyduje ona o prognozie poziomu bezpieczeństwa w pożarze, w tym w szczególności o ryzyku zniszczenia mieszczącej się w badanej strefie konstrukcji nośnej.
Metody: Oszacowanie miarodajnej gęstości obciążenia ogniowego odniesionej do konkretnej strefy pożarowej będzie wiarygodne tylko wtedy, jeśli dokona się go na podstawie specjalistycznej i zindywidualizowanej inwentaryzacji zgromadzonych w tej strefie materiałów palnych. Miarą poszukiwanej wartości będzie w takim przypadku wartość nominalna uzyskana bezpośrednio z pomiarów. Wartość tę trzeba jednak powiązać jednoznacznie nie tylko z samą badaną strefą, ale i z chwilą przeprowadzenia obserwacji. Z tego względu bardziej uniwersalną miarą wydaje się być wartość charakterystyczna, wyliczona jako odpowiedni kwantyl rozkładu prawdopodobieństwa gęstości traktowanej jako zmienna losowa. Tego typu postępowanie uwzględnia zmienność statystyczną wartości gęstości zinwentaryzowanych w strefach o podobnym sposobie użytkowania. Uzyskaną wartość interpretuje się zatem jako miarodajną dla strefy pożarowej określonego typu, nie zaś jako tę kojarzoną ze strefą badaną w konkretnym budynku.
Wyniki: Omówiono metody prowadzenia inwentaryzacji, sposób interpretacji uzyskanych wyników oraz ograniczenia wpływające na malejącą z czasem wiarygodność oszacowania wyznaczonego w sposób bezpośredni. Rozważania te skonfrontowano z procedurą obliczeń probabilistycznych, prowadzącą do specyfikacji statystycznie uzasadnionej wartości charakterystycznej losowej gęstości, reprezentatywnej dla stref pożarowych o podobnym sposobie użytkowania.
Wnioski: Tradycyjny sposób postępowania oparty na zindywidualizowanej inwentaryzacji pojedynczej strefy pożarowej wydaje się żmudny i mało praktyczny. Każda zmiana sposobu użytkowania strefy, a nawet samo tylko uzupełnienie zgromadzonych w niej materiałów palnych, prowadzi do zakwestionowania wiarygodności wyliczonego wcześniej oszacowania. Z tego względu w pracy rekomenduje się zastosowanie podejścia opartego na obliczeniach probabilistycznych, bardziej uniwersalnego i dającego wyniki o zweryfikowanej wiarygodności.

Słowa kluczowe: pożar, obciążenie ogniowe, gęstość, inwentaryzacja, wartość charakterystyczna, kwantyl, prawdopodobieństwo, ryzyko
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

ABSTRACT

Aim: To identify two alternative approaches for the specification of a reliable value, which describes fire load density in building compartments. Such density depends on the accumulation of combustible materials in an area under consideration and determines the intensity of a fire, which may flare up at the facility. A reliable value is recognised as one representing the accepted nature of utilization for given premises. It determines the estimated level of safety during a fire incident, specifically in connection with the risk of destruction of load bearing structures.
Methods: Estimation of an authoritative fire load density measure applicable to a given facility is credible only if it is carried out on the basis of a specialist and individual inventory of flammable materials accumulated within. The magnitude of the sought value will, in such a case, be the nominal value obtained from direct measurements. However, this value must be unambiguously connected, not only with the facility under examination, but also linked to the time of the performed observation. For this reason a more universal measure may be a characteristic value

[1] Politechnika Krakowska / Cracow University of Technology; mmaslak@pk.edu.pl;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

calculated as an appropriate quantile of a probability distribution for random fire load density. Such an approach takes into account statistical changes in density values inventoried in facilities with similar utilisation. Identified values are interpreted as authoritative for a specified fire zone type and not as one associated with a zone studied in the specific building.
Results: Examined methods used for the conduct of inventory, interpretation approach for derived results and limitations, which over time decrease the credibility of estimates determined by direct intervention. These reflections were confronted with probabilistic calculation methods, which lead to statistical specification of characteristic values of random fire load density, which were representative for facilities with a similar utilisation pattern.
Conclusions: The conventional procedure, based on an individualized inventory for discrete premises appears arduous and impractical. Each change in the use of such a facility or a simple addition of combustible materials stored inside the premises, leads to questions about the credibility of previously calculated estimates. For this reason, the study recommends an application of a more universal approach, based on probabilistic calculations, which provides credible results.

Keywords: fire, fire load, density, inventory, characteristic value, quantile, probability, risk
Type of article: original scientific article

АННОТАЦИЯ

Цель: Представлены два альтернативных подхода для спецификации/определения достоверного значения плотности пожарной нагрузки в пожарной зоне. Эта нагрузка зависит от накопления в данной зоне горючих материалов и влияет на интенсивность пожара, который в этой зоне может появиться. Достоверным значением называют репрезентативное значение для конкретного способа использования данной зоны. Оно обусловливает результат прогноза уровня безопасности во время пожара, в частности, риск разрушения находящейся в этой зоне несущей конструкции.
Методы: Оценка достоверного значения пожарной нагрузки относительно конкретной пожарной зоны возможна только в случае, если она проведена на основе специализированной и индивидуальной инвентаризации накопленных в данной зоне горючих материалов. Значение, которое необходимо найти в этом случае будет номинальным, полученным непосредственно из измерений. Это значение, однако, нужно однозначно связывать не только с самой исследуемой зоной, но и с моментом проведения наблюдений. Поэтому, более универсальной мерой представляется характеристическое значение, рассчитанное как соответствующий квантиль распределения вероятности нагрузки, рассматриваемой как случайная величина. Этот тип учитывает статистическую изменчивость значений нагрузки в инвентаризированных зонах при аналогичном способе использования. Полученное значение считается как достоверное для определенного типа пожарной зоны, а не как связнное с зоной, исследуемой в конкретном здании.
Результаты: Рассмотрены методы проведения инвентаризации, способ интерпретации полученных результатов и ограничения, которые влияют на снижающуюся вероятность оценки, проведенной прямым путем. Эти соображения были сопоставлены с процедурой вероятностных расчетов, благодаря которой возможно получить статически обоснованое характеристическое значение случайной нагрузки, свойтвенное для пожарных зон аналогичного способа использования.
Выводы: Традиционный способ поведения, основанный на индивидуальной инвентаризации одной пожарной зоны, представляется трудным и не практичным. Любое изменение способа использования зоны или даже только увеличение в ней количества горючих материалов ставит под сомнение достоверность расчетов ранней оценки. По этой причине в статье рекомендуется использовать подход, основанный на вероятностных расчетах, который является более универсальным и дает достоверные результаты.

Ключевые слова: пожар, пожарная нагрузка, плотность, инвентаризация, характеристическое значение, квантиль, вероятность, риск
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Wprowadzenie

Obciążenie ogniowe strefy pożarowej Q[MJ] jest zwykle interpretowane jako ilościowa miara energii, która przy zgromadzonych w tej strefie materiałach palnych, stanowiących potencjalne paliwo, uwolni się w czasie trwania antycypowanego dla niej pożaru. Wraz ze współczynnikiem otworów O [$m^{0,5}$], charakteryzującym geometrię rozpatrywanej strefy i kwantyfikującym możliwość wymiany gazów spalinowych z otoczeniem, czyli w efekcie jej wentylacji, decyduje zatem o przebiegu takiego miarodajnego pożaru, a ściślej o szybkości uwalniania ciepła *HRR* (*heat release rate*), co bezpośrednio przekłada się na efektywną intensywność spalania. W praktyce projektowej dokładna specyfikacja całkowitej wartości tej energii może posłużyć do oszacowania zmieniającego się podczas pożaru poziomu bezpieczeństwa użytkowników danej strefy jedynie po jednoznacznym określeniu sposobu rozmieszczenia w niej materiałów palnych. Należy sprecyzować, czy są one rozlokowane w sposób równomierny na całej powierzchni, czy raczej pogrupowane, generując przy tym lokalne maksima znacznie przewyższające uśredniony poziom odniesienia. Z tej przyczyny wartość obciążenia ogniowego lepiej wyrazić w odniesieniu do powierzchni podłogi (*floor*) analizowanej strefy pożarowej A_f[m^2], określając gęstość obciążenia ogniowego q_f[MJ/m^2]. Zgodnie z powyższym:

$$q_f = \frac{Q}{A_f} \tag{1}$$

Gęstość q_f trzeba w sensie ilościowym odróżniać od gęstości q_t[MJ/m^2] odniesionej do powierzchni wszystkich przegród (*total*) ograniczających strefę pożarową A_t[m^2] (to znaczy zarówno podłogi, jak i stropu i ścian). Obie wielkości w literaturze przedmiotu stosowane są wymiennie, niemniej jednak zawsze zachodzi relacja:

$$q_f = q_t\left(\frac{A_t}{A_f}\right) \text{ przy czym } q_t = \frac{Q}{A_t} = \frac{Q}{2A_f + HC} \tag{2}$$

gdzie H oraz C są odpowiednio wysokością i obwodem strefy pożarowej.

Istnieją co najmniej dwa jakościowo różne podejścia do specyfikacji miarodajnej dla analizy bezpieczeństwa w pożarze wartości gęstości obciążenia ogniowego q_f (a także odpowiadającej jej gęstości q_t). Pierwsze opiera się na przeprowadzeniu szczegółowej inwentaryzacji przypisanej do analizowanej strefy i wyznaczeniu wartości nominalnej q_{fn}, drugie natomiast na wykorzystaniu statystycznie uzasadnionej wartości charakterystycznej q_{fk} zidentyfikowanej dla założonego rozkładu prawdopodobieństwa gęstości q_f potraktowanej jako zmienna losowa i oszacowanej w odniesieniu do jednorodnej i reprezentatywnej populacji stref pożarowych o podobnym sposobie użytkowania. Prezentacja i porównanie obu podejść stanowi podstawowy cel artykułu.

2. Specyfikacja wartości nominalnej gęstości obciążenia ogniowego na podstawie szczegółowej inwentaryzacji strefy pożarowej

Zgodnie z normą PN-B-02852:2001 [1], a także z załącznikiem E do normy PN-EN 1991-1-2 [2], w celu oszacowania wartości obciążenia ogniowego Q należy zinwentaryzować zgromadzone w rozpatrywanym pomieszczeniu (ściślej – w strefie pożarowej) materiały palne, dla każdego z nich podać masę m_i[kg] oraz przypisać im efektywne ciepło spalania $H_{u,eff,i}$[MJ/kg] (*effective calorific value*). W konsekwencji, przy n uwzględnianych materiałach, otrzymuje się:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} m_i H_{u,eff,i} \ [\mathrm{MJ}] \tag{3}$$

Przymiotnik „efektywne" wiąże się z nieidealnymi warunkami spalania w pożarze, gdy zachodzi redukcja $H_{u,eff,i} = \chi_i H_{u,i}$, przy czym $\chi i \leqslant 1$. Warunki idealne panują bowiem jedynie w laboratoryjnym badaniu kalorymetrycznym, w którym mierzy się ciepło spalania netto $H_{u,i}$[MJ/kg] (*net calorific value*). W praktyce inżynierskiej współczynnik χ_i jest z reguły zaniedbywany w obliczeniach (patrz na przykład [2]), co można uzasadnić trudnością w jednoznacznym ustaleniu jego wartości, niemniej jednak tego typu uproszczenie prowadzi do niepotrzebnego przeszacowania wyznaczonej z zależności (3) wartości Q, choć trzeba przyznać, że jest to ustalenie po stronie bezpiecznej. Poza tym należy podkreślić, że oszacowania energii Q dokonuje się przy założeniu, że uwzględniane w bilansie materiały są idealnie suche. Jeżeli tak nie jest, a wilgotność i-tego materiału liczona w procentach jego suchej masy wynosi u, to trzeba dokonać korekty zgodnie z formułą:

$$H_{u,i} = H_{u0,i}(1 - 0{,}01u) - 0{,}025u \tag{4}$$

gdzie wartość $H_{u0,i}$ dotyczy materiału idealnie suchego.

Miarą kwantyfikacji wielkości Q jest obecnie jednostka energii specyfikowana w układzie SI, czyli MJ. W starszych opracowaniach można spotkać się z jednostkami typu kaloria, a nawet z kilogramami suchego, znormalizowanego drewna. Przeliczenie tak skalibrowanych wartości na takie, które są wyrażone w jednostkach obowiązujących obecnie, generuje wiele niejednoznaczności, zwłaszcza przy dużej różnorodności uwzględnianych w analizie materiałów. Szczegółowe omówienie tych kwestii wymaga jednak odrębnego opracowania. Interesującym wprowadzeniem w to zagadnienie zdaniem autora są prace [3] i [4].

Do podstawowych sposobów zbierania danych wykorzystywanych przy inwentaryzacji rozpatrywanej strefy pożarowej należą:

- metoda bezpośredniego ważenia (*direct weighing method*) – zgodnie z którą masy zidentyfikowanych materiałów palnych ustala się poprzez proste zważenie, a następnie przypisuje im odpowiednie wartości ciepła spalania,
- metoda inwentaryzacji pośredniej (*inventory method*) – w tej metodzie poszukiwane wartości masy określa się, dokonując pomiaru objętości rozmaitych przedmiotów zawierających materiały palne, a następnie dobiera się dla nich miarodajną gęstość, co pozwala na oszacowanie masy, a w dalszej kolejności następuje przypisanie poszczególnych wartości ciepła spalania,
- metoda kwestionariusza (*questionnaire method*) – zidentyfikowane materiały palne oraz wartość ich masy ustala się na podstawie danych zestawionych w kwestionariuszu dostarczonym do specjalisty przez bezpośredniego użytkownika pomieszczenia,
- metoda analizy fotograficznej (*real estate website review*) – szacowanie rodzajów materiałów palnych oraz ich masy odbywa się na podstawie dostarczonych zdjęć lub filmów ze strefy pożarowej.

Ze względu na odpowiednią wiarygodność przepisy normy [5] dopuszczają do stosowania jedynie te metody gromadzenia danych, w których wymagany jest bezpośredni udział specjalisty w przeprowadzaniu pomiaru. Należy zwrócić uwagę, że w przypadku metody kwestionariusza, ekspert analizuje dane zebrane przez osoby postronne, niekoniecznie kompetentne w ocenie. Z drugiej strony zastosowanie filmów i/lub fotografii ma ze swej natury również bardzo ograniczoną wiarygodność. Najlepszy nawet film pokazuje bowiem jedynie wycinek rzeczywistości. Tym bardziej trudno o miarodajną ocenę masy czy objętości badanego przedmiotu. Obie metody zalecane przez normę [5], to znaczy zarówno metoda ważenia, jak i metoda inwentaryzacji pośredniej, mają wiele ograniczeń. Po pierwsze w praktyce trudno zważyć wiele zgromadzonych w badanej strefie materiałów palnych. W szczególności dotyczy to niektórych elementów wbudowanych w konstrukcję nośną. Z drugiej strony w przypadku palnych obiektów ruchomych znacznie łatwiej oszacować masę niż objętość. Jak postąpić na przykład z krzesłem, w którym niektóre części wykonano z metalu, a inne z tworzywa sztucznego? Uwzględniając wszystkie przywołane powyżej ograniczenia, przyjmuje się, że optymalnym sposobem postępowania jest metoda łącząca inwentaryzację pośrednią z ważeniem.

Opierając się na rekomendacjach normy [5], przy inwentaryzowaniu realnego obciążenia ogniowego charakteryzującego rozpatrywaną strefę pożarową dokonuje się rozróżnienia na:

- gęstość obciążenia ogniowego stanowiącego ruchomą zawartość strefy pożarowej (*contents fire load*, *movable fire load*) – do tego obciążenia zalicza się na przykład meble, książki, dywany, zasłony;

Tabela 1. Wyniki estymacji parametrów próby statystycznej otrzymanej z analizy gęstości obciążenia ogniowego pomieszczeń biurowych (według [7])
Table 1. Results of estimated parameters characterizing the statistical sample obtained from an analysis of random fire load density in offices (according to [7])

	Metoda inwentaryzacji pośredniej / Indirect inventory method	**Metoda ważenia / Weighing method**	**Metoda kombinowana łącząca inwentaryzację z ważeniem / Merged method combining inventory and weighing**
Wartość średnia z próby / sample mean $\overline{q_f}$ $\left[\mathrm{MJ/m^2}\right]$	852	530	557
Odchylenie standardowe z próby / sample standard deviation σ_{qf} $\left[\mathrm{MJ/m^2}\right]$	484	257	286

BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 121–129

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

- gęstość obciążenia ogniowego wbudowanego w strefę pożarową (*fixed fire load*) – dot. palnych elementów konstrukcyjnych oraz na przykład materiałów wykorzystanych do wykończenia podłóg, ścian, sufitów itp.

Jak zaznaczono powyżej uzyskana z inwentaryzacji wartość gęstości obciążenia ogniowego rozumiana jest jako wartość nominalna q_{fn}, specyficzna dla analizowanej strefy pożarowej.

3. Idea statystycznego szacowania wartości miarodajnego kwantyla losowej gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej

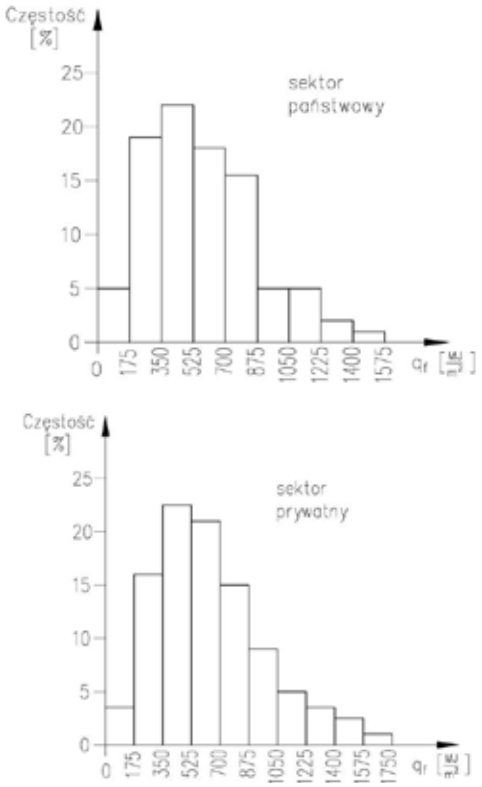
Praktyczne zastosowanie zależności (3) w przypadku analizy stanu bezpieczeństwa w pożarze odniesionej do konkretnego budynku, ze strefami pożarowymi o zróżnicowanym charakterze, jest niewątpliwie żmudne, a poza tym mało przydatne z uwagi na możliwe zmiany sposobu użytkowania poszczególnych pomieszczeń, a nawet na wysoce prawdopodobną wymianę pojedynczych mebli czy palnych elementów wystroju wnętrz w trakcie użytkowania rozpatrywanego obiektu. Z tego względu postuluje się na tym polu zamianę klasycznego podejścia deterministycznego na rozważania o charakterze analizy statystycznej z elementami zarządzania ryzykiem (*risk management*). Zmiana tego typu sprowadza się do zastąpienia wartości q_{fn}, specyfikowanej indywidualnie dla każdego rozpatrywanego przypadku, odniesioną do tej wielkości wartością charakterystyczną q_{fk}, wyznaczaną jako statystycznie uzasadniony kwantyl odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa. W tym celu dokonuje się pogrupowania stref pożarowych stanowiących przedmiot analizy na strefy o podobnym charakterze, w szczególności o tej samej funkcji lub o analogicznym sposobie użytkowania, a następnie każdej z tak wyodrębnionych grup przypisuje odpowiednie wartości q_{fk}. Wyznaczenie wartości poszukiwanego kwantyla wymaga określenia typu rozkładu prawdopodobieństwa zmiennej losowej, którą jest gęstość obciążenia ogniowego q_f, wartości centralnej tego rozkładu oraz co najmniej jednego parametru rozrzutu. Pierwszym krokiem do umożliwienia przeprowadzenia takiej analizy musi być jednak zgromadzenie jednorodnej i wiarygodnej populacji danych odniesionych do każdej z wyodrębnionych grup. Okazuje się, że sposób ich zbierania ma zasadniczy wpływ na uzyskane wyniki [6]. Różnice ilościowe uzyskane z badania tej samej grupy stref pożarowych przy zastosowaniu każdej z wymienionych wcześniej metod są często bardzo znaczące. Przykładem jest na przykład porównanie wyników otrzymanych różnymi metodami dla tych samych pomieszczeń biurowych, zaczerpnięte z raportu [7] i pokazane w tabeli 1. Liczebność próby statystycznej wynosiła w tym przypadku $N = 103$. Na takie zróżnicowanie wyników po raz pierwszy zwrócił uwagę C. Culver [8].

4. Czynniki różnicujące rozkład próby statystycznej w ramach jednorodnej grupy badawczej

Wybrana do szacowania miarodajnej wartości gęstości obciążenia ogniowego technika statystycznej analizy danych generuje konieczność specyfikacji jednorodnych grup badawczych, to znaczy zbiorów grupujących poszczególne rodzaje stref pożarowych, o podobnym przeznaczeniu i sposobie użytkowania. Tego rodzaju podział musi być dokonywany bardzo starannie, ponieważ ma kluczowe znaczenie w finalnej ocenie bezpieczeństwa w pożarze. W literaturze przedmiotu można odszukać wiele rekomendowanych podziałów, często znacznie różniących się między sobą. Spośród nich trzeba jednak wyróżnić dwa, które znalazły się w aktach normatywnych powszechnie stosowanych w praktyce inżynierskiej. W aneksie E normy PN-EN 1991-1-2 [2] wyróżniono na tym polu: mieszkania, sale szpitalne, biblioteki, biura, klasy szkolne, sklepy i centra handlowe, kina i teatry oraz obiekty służące obsłudze komunikacyjnej (na przykład dworce kolejowe i autobusowe). Z drugiej strony w normie NFPA 557 [5] wydzielono:

- biura i pomieszczenia biznesowe (*office/business occupancies*),
- pomieszczenia kultu religijnego (*religious properties*),
- pomieszczenia związane z konsumpcją (*eating/drinking establishments*),
- pomieszczenia przeznaczone do edukacji (*educational buildings*),
- pomieszczenia do opieki nad chorymi (*facilities that care for the sick*),
- pomieszczenia przeznaczone do handlu (*stores/mercantile buildings*),
- pomieszczenia typu hotelowego (*places where people sleep other than homes*),
- inne obiekty użyteczności publicznej (*other public assembly buildings*).

Jak widać, w drugim przypadku nie wyróżnia się mieszkań jako osobnej grupy badawczej, co prawdopodobnie wynika ze specyfiki amerykańskich przepisów pożarowych.

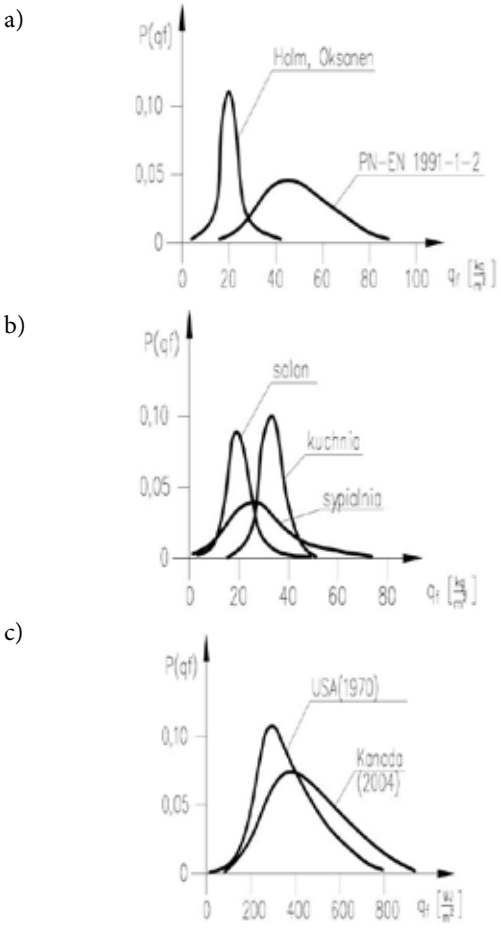


Ryc. 1. Histogramy losowej gęstości obciążenia ogniowego pomierzonej w pomieszczeniach biurowych, z lewej – w sektorze państwowym, z prawej – w sektorze prywatnym (według [8])

Fig. 1. Histograms of random fire load density measured in offices, left – in the public sector, right – in the private sector (according to [8])

Odpowiedniego uogólnienia i pogrupowania wymaga analiza rozpatrywanych materiałów palnych. Na ogół przypisuje się je do trzech (lub czterech) podstawowych grup, takich jak: papier oraz drewno (często łączone w jedną grupę jako materiały wytworzone na bazie celulozy), plastiki i tekstylia. Przytoczone powyżej podziały z oczywistych względów nie są doskonałe. Ze szczegółowej analizy pomieszczeń biurowych wynika na przykład, że należałoby rozróżnić typowe biura i sale konferencyjne przeznaczone na spotkania wielu osób [9]. Poza tym w [8] pokazano istotną różnicę pomiędzy

skośnościami histogramów gęstości obciążenia ogniowego otrzymanych dla biur funkcjonujących w sektorze państwowym i prywatnym (ryc. 1). W oszacowaniach amerykańskich z końca lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku [8] raportuje się, że udział drewna i papieru w obciążeniu ogniowym pomieszczeń biurowych wynosił 99,8%. Podobną wartość (to znaczy dokładnie 98,7%) podaje S. Kumar [10] dla biur zlokalizowanych w Indiach w połowie lat dziewięćdziesiątych. Tymczasem najnowsze badania sprzed kilku lat, cytowane dla warunków amerykańskich przez E. Zaloka i J. Edufula [6], sugerują następujący podział: materiały celulozowe 70% (w tym papier 24% i drewno 46%), plastiki 22%, tekstylia 8%. Znaczący wzrost udziału plastiku to oczywisty efekt obecności we współczesnych pomieszczeniach biurowych komputerów, drukarek, telewizorów, odbiorników radiowych itp. Należy odpowiedzieć zatem na pytanie, czy oszacowania uzyskane kilkadziesiąt lat temu są nadal wiarygodne, zwłaszcza w dobie coraz szybszych przemian społecznych i kulturowych.



Ryc. 2. Rozkład prawdopodobieństwa losowej gęstości obciążenia ogniowego w przypadku mieszkań: a) porównanie rezultatów uzyskanych w badaniach *Holma* i *Oksanena* [12] z 1970 roku ze współczesną rekomendacją normy PN-EN 1991-1-2 [2], b) rozkłady uzyskane po wydzieleniu z mieszkania odpowiednio salonu, kuchni i sypialni (według [12]), c) porównanie rozkładów otrzymanych w badaniach amerykańskich z 1970 roku [13] i kanadyjskich z 2004 roku [14]

Fig. 2. The probability distribution of random fire load density for apartments: a) comparison of the results obtained by *Holm* & *Oksanen* [12] in 1970 with contemporary recommendation taken from the standard PN-EN 1991-1-2 [2], b) distributions obtained after separation from the apartments considered as a whole, living rooms, kitchens and bedrooms, respectively (according to [12]), c) comparison of distributions obtained from American research in 1970 [13] with these taken from Canadian studies carried out in 2004 [14]

Innym przykładem, który dobrze ilustruje niejednoznaczności w szacowaniu parametrów opisujących rozkład gęstości obciążenia ogniowego w jednorodnej próbie statystycznej, jest szczegółowa analiza pomieszczeń przeznaczonych na mieszkania. Autorzy pracy [11] cytują wyniki badań C. Holma i P. Oksanena [12] z początku lat siedemdziesiątych ubiegłego wieku. Wskazują oni na zróżnicowanie rozkładu poszukiwanej gęstości, jeśli rozpatrywać osobno salon, sypialnię i kuchnię, nie zaś mieszkanie jako całość (ryc. 2a i 2b). Porównanie zaproponowanych rozkładów z rozkładem odniesionym do całego mieszkania i rekomendowanym współcześnie w normie [2] pokazuje, że w obecnych czasach obciążenie ogniowe mieszkań jest znacząco większe (ryc. 2a). Tego typu konstatacja znajduje potwierdzenie w porównaniu rozkładu uzyskanego w roku 1970 dla mieszkań zlokalizowanych w USA [13] z rozkładem znacznie późniejszym, otrzymanym w 2004 roku dla mieszkań zlokalizowanych w Kanadzie [14] (ryc. 2c).

Kolejnym czynnikiem determinującym rozkład gęstości obciążenia ogniowego jest powierzchnia strefy pożarowej. Na ogół wskazuje się [8], że obciążenie ogniowe Q strefy pożarowej rośnie wraz ze wzrostem powierzchni A_f jedynie do wartości mniej więcej równej $A_f = 30$ m^2, natomiast w pomieszczeniach większych znacząco maleje.

5. Kwestia dopasowania odpowiedniego rozkładu prawdopodobieństwa gęstości obciążenia ogniowego

Dostępność do odpowiedniego zbioru danych statystycznych, stanowiącego próbę jednorodną, pozwala na ich reprezentatywną analizę. W tym celu, po przypisaniu posiadanych wyników do zdefiniowanych wcześniej klas, a następnie po zbadaniu liczebności każdej klasy, konstruuje się histogram oraz dystrybuantę empiryczną badanej zmiennej. Podstawowym zadaniem oceniającego jest teraz jak najbardziej precyzyjne dopasowanie uzyskanego w ten sposób rozkładu empirycznego do jednego z ciągłych rozkładów prawdopodobieństwa opisanych przez matematyków. Na ogół korzysta się przy tym z metody momentów probabilistycznych, traktując momenty z próby (średnią i odchylenie standardowe) jako estymatory (najlepiej zgodne, nieobciążone i najbardziej efektywne) momentów rozkładu, do którego rozkład empiryczny jest przyrównywany. Można również zastosować graficzną metodę kolokacji w punkcie granicznym i dokonywać rektyfikacji dystrybuanty empirycznej na kolejnych siatkach probabilistycznych albo poszukiwać maksymalnej możliwej wiarogodności (*likelihood*), spośród tych które wyliczono przy przyrównywaniu rozkładu empirycznego do kolejnych rozkładów prawdopodobieństwa [15]. Zarówno S. Kumar z C.V.S.K. Rao [10], jak i A.C. Bwalya wraz z M. Sultanem i N. Benichou [16] informują o dobrym dopasowaniu uzyskanych z badań wyników do rozkładu lognormalnego. Tego typu stwierdzenie oznaczałoby, że logarytm naturalny losowej gęstości obciążenia ogniowego ma rozkład normalny. Z drugiej strony, z uwagi na to, że pożar jest zdarzeniem wyjątkowym, a przez to rzadkim, to znaczy takim, które nie powinno mieć miejsca częściej niż co najwyżej raz w czasie użytkowania budynku, postuluje się przypisywanie rozkładowi gęstości obciążenia ogniowego cech jednego z rozkładów zmiennych specyfikowanych jako wartości ekstremalne, w tym w szczególności rozkładu Gumbela [17] lub rozkładu Weibulla [18]. Wykazano przy tym, że dopasowanie do rozkładu empirycznego w przypadku obu tych rozkładów jest wystarczająco dobre, niemniej jednak rozkład Weibulla daje najlepsze dopasowanie (w sensie testu Kołmogorowa-Smirnowa) przy wykorzystaniu do zbierania danych metody inwentaryzacji pośredniej natomiast rozkład Gumbela – metody bezpośredniego ważenia. Poza tym za rozkładem typu ekstremalnego

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

przemawia obserwowana skośność otrzymywanych z inspekcji rozkładów empirycznych.

6. Normowa interpretacja wartości charakterystycznej gęstości obciążenia ogniowego

Zarówno w eurokodzie [2], jak i w normie [6] losowa gęstość obciążenia ogniowego strefy pożarowej q_f charakteryzowana jest rozkładem prawdopodobieństwa Gumbela. Oznacza to, że jej wartość charakterystyczna q_{fk} zdefiniowana została jako kwantyl tego rozkładu określony na poziomie prawdopodobieństwa nieprzewyższenia p. W celu wyspecyfikowania tej wartości należy najpierw wyznaczyć wartość średnią $\overline{q_f}$ i odchylenie standardowe σ_{qf} z próby, posługując się formułami:

$$\overline{q_f} = \overline{q_{f,f}} + \overline{q_{f,c}} \text{ oraz } \sigma_{qf} = \sqrt{\sigma^2_{qf,f} + \sigma^2_{qf,c}} \quad (5)$$

w których gęstość $q_{f,f}$ związana jest z materiałami palnymi wbudowanymi w strefę pożarową (*fixed fire load*), natomiast gęstość $q_{f,c}$ z potencjalnym paliwem stanowiącym ruchome wyposażenie tej strefy (*contents fire load*). Kolejnym krokiem jest przeliczenie tych parametrów na odpowiadające im parametry rozkładu Gumbela, czyli modę $\tilde{q}_f$ (innymi słowy wartość najbardziej prawdopodobną w przyjętym do analizy okresie odniesienia) i gumbelowskie odchylenie standardowe u_{qf}. Stosując klasyczną metodę momentów probabilistycznych [15], otrzymuje się:

$$\tilde{q}_f = \overline{q_f} - 0{,}577\frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma_{qf} = \overline{q_f} - 0{,}45\sigma_{qf}$$

$$\text{oraz } u_{qf} = \frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma_{qf} = 0{,}78\sigma_{qf} \quad (6)$$

przy czym współczynnik 0,577 jest tak zwaną stałą Eulera. Poszukiwany kwantyl q_{fk}, czyli taką wartość losowej gęstości q_f, która w losowej realizacji może zostać przewyższona z zadanym prawdopodobieństwem q (a to oznacza, że nie będzie ona przewyższona z prawdopodobieństwem $p = 1 - q$), wyznacza się z zależności:

$$q_{fk} = \tilde{q}_f - u_{qf}\ln\left[-\ln(p)\right] =$$
$$= \overline{q_f} - \frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma_{qf}\left\{0{,}577 + \ln\left[-\ln(p)\right]\right\} \quad (7)$$

Pozostaje ustalić miarodajny poziom prawdopodobieństwa nieprzewyższenia p. W aneksie E do eurokodu [2] przyjęto, że wartość charakterystyczna q_{fk} jest takim wybranym poziomem losowej gęstości q_f, którego nieprzewyższenie w losowej realizacji jest gwarantowane z prawdopodobieństwem 80%, co oznacza że $p = 0{,}8$, a zatem $q = 1 - 0{,}8 = 0{,}2$. Tak arbitralne ustalenie budzi zastrzeżenia, bowiem w istocie wartość prawdopodobieństwa p powinna zostać wyspecyfikowana w oparciu o szczegółową analizę ryzyka zainicjowania pożaru. Niech T_r oznacza okres powrotu wartości charakterystycznej, to znaczy średni czas (liczony w latach) pomiędzy kolejnymi przewyższeniami wartości q_{fk}. Wtedy, przy założeniu że prawdopodobieństwo q nie zmienia się w czasie, zachodzi:

$$q = P\left(q_f > q_{fk}\right) = \frac{1}{T_r} \quad (8)$$

co daje:

$$p = P\left(q_f \le q_{fk}\right) = 1 - q = 1 - \frac{1}{T_r} \quad (9)$$

Wartość q powinna być równocześnie miarą prawdopodobieństwa zawodu, rozumianego z reguły jako wyczerpanie w pożarze możliwości bezpiecznego przenoszenia przyłożonych do konstrukcji obciążeń zewnętrznych wraz z obciążeniami generowanymi na skutek ograniczenia swobody odkształceń indukowanych termicznie. Nie każde jednak przewyższenie wartości charakterystycznej q_{fk} kończy się katastrofą ustroju nośnego. Jeżeli chcemy, aby prawdopodobieństwo q było miarą prawdopodobieństwa tego rodzaju katastrofy, spowodowanej przez pożar, który w danej strefie pożarowej został wcześniej zainicjowany, to musi być ono iloczynem prawdopodobieństwa zainicjowania pożaru q_{ini} oraz warunkowego prawdopodobieństwa awarii q_{fail}, przy warunku że awaria ta nastąpiła na skutek tego właśnie pożaru. Wartość prawdopodobieństwa q_{ini} określa się przez częstość występowania pożarów f_s, wyrażoną w liczbie pożarów na rok na metr kwadratowy strefy pożarowej o danym sposobie użytkowania. Chodzi przy tym o pożary istotne dla bezpieczeństwa ustroju nośnego, tak zwane *structurally significant fires*, nie zaś o drobne i lokalne incydenty pożarowe. Częstość ta powinna zostać ustalona na podstawie reprezentatywnych badań statystycznych. Jeżeli wielkość f_s zastąpi się wielkością f_{ss}, taką że $f_{ss} = f_s A_f$, gdzie A_f jest mierzoną w m^2 powierzchnią podłogi konkretnej strefy pożarowej, zlokalizowanej w interesującym nas budynku (patrz zależność (1)), to miarą częstości f_{ss} będzie liczba pożarów na rok. A zatem:

$$q_{ini} = \frac{1}{f_{ss}} = q_{ini,1} \quad (10)$$

Należy zauważyć, że w takim ujęciu prawdopodobieństwo $q_{ini} = q_{ini,1}$ należy interpretować jako prawdopodobieństwo odniesione do pojedynczego tak zwanego jednorocznego okresu jednostkowego, nie zaś do całego czasu użytkowania budynku. Oczywiście, jeżeli przyjąć, że wartość q_{ini} jest stała w czasie, a czas użytkowania wynosi m lat, to prawdopodobieństwo odniesione do tego czasu ma wartość $q_{ini,m}$, taką że:

$$q_{ini,m} = \left(q_{ini,1}\right)^m \quad (11)$$

Z drugiej strony, w przepisach normy [5] zakłada się, że miarą warunkowego prawdopodobieństwa q_{fail} jest ryzyko awarii ustroju nośnego w pożarze, który w rozpatrywanej strefie pożarowej został wcześniej zainicjowany. Ryzyko to oznacza się symbolem R_s i, przy braku szczegółowych danych, ustala na stałym poziomie $1 \cdot 10^{-6}$ na rok. Tak więc ostatecznie:

$$q = q_{ini,1}q_{fail} = \frac{R_s}{f_{ss}} \quad (12)$$

co po uwzględnieniu wzoru (8) pozwala zapisać, że:

$$T_r = \frac{f_{ss}}{R_s} \quad (13)$$

Kombinacja wzorów (7), (8), (9) i (13) prowadzi do oszacowania wartości charakterystycznej q_{fk} specyfikowanego w normie [5] w postaci:

$$q_{fk} = \overline{q_f} - \frac{\sqrt{6}}{\pi}\sigma_{qf}\left\{0{,}577 + \ln\left[-\ln\left(1 - \frac{R_s}{f^*_{ss}}\right)\right]\right\} \quad (14)$$

Częstości f_{ss} miarodajne dla poszczególnych typów stref pożarowych oszacowano empirycznie jak następuje:

- biura i pomieszczenia biznesowe – 6 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia kultu religijnego – 6 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia związane z konsumpcją – 81 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia przeznaczone do edukacji – 10 pożarów na milion m^2 na rok,

- pomieszczenia do opieki nad chorymi – 16 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia przeznaczone do handlu – 16 pożarów na milion m^2 na rok,
- pomieszczenia typu hotelowego – 43 pożary na milion m^2 na rok,
- inne obiekty użyteczności publicznej – 10 pożarów na milion m^2 na rok.

Wartości te przed zastosowaniem ich w zależności (14) muszą zostać skorygowane do wartości $f^*_{ss} = \chi f_{ss}$ z uwagi na rodzaj konstrukcji i sposób jej zabezpieczenia przed ogniem. Współczynniki korekcyjne χ podano w odpowiednich tabelach przypisanych do poszczególnych typów miarodajnej strefy pożarowej. Przykładową tabelę odniesioną do pomieszczeń biurowych zamieszczono poniżej (tabela 2).

Tabela 2. Współczynniki χ redukujące częstość f_{ss} specyfikowane dla pomieszczeń biurowych (według [6])
Table 2. Coefficients χ reducing the frequency f_{ss} specified for offices (according to [6])

Typ konstrukcji / Type of construction	Brak systemu alarmowego. Brak instalacji tryskaczowej / No alarm system. No sprinkler system	Brak systemu alarmowego. Zastosowana instalacja tryskaczowa / No alarm system. Applied sprinkler system	Zastosowano system alarmowy. Brak instalacji tryskaczowej / Applied alarm system. No sprinkler system	Zastosowano system alarmowy. Zastosowano instalację tryskaczową / An alarm system applied. Sprinkler system applied
Odporna na ogień/ fire resistant	0,13	0,04	0,07	0,03
Chroniona przed ogniem, niepalna / protected, noncombustible	0,15	0,05	0,06	0,03
Niechroniona przed ogniem, niepalna / unprotected, noncombustible	0,19	0,07	0,10	0,05
Chroniona przed ogniem, zawierająca elementy palne / protected, containing combustible elements	0,21	0,03	0,10	0,04
Niechroniona przed ogniem, zawierająca elementy palne / unprotected, containing combustible elements	0,30	0,11	0,17	0,07
Rama drewniana chroniona przed ogniem / protected wood frame	0,30	0,13	0,18	0,08
Rama drewniana niechroniona przed ogniem / unprotected wood frame	0,37	0,12	0,20	0,07

Tabela 3. Oszacowania wartości charakterystycznej q_{fk}[MJ/m²] rekomendowane w [2] (liczone jako górny kwantyl rozkładu *Gumbela* przy różnym poziomie prawdopodobieństwa nieprzewyższenia p)
Table 3. Estimates of the characteristic value q_{fk}[MJ/m²] recommended in [2] (computed as an upper quantile of *Gumbel* probability distribution when various probability values of not exceeding p are assumed)

Sposób użytkowania strefy pożarowej / Fire zone facility utilization	Średnia z próby / Sample mean q_f[MJ/m²]	Odchylenie standardowe z próby / Sample standard deviation σ_{qf}[MJ/m²]	q_{fk}[MJ/m²] oszacowane jako górny kwantyl rozkładu *Gumbela* na poziomie: q_{fk}[MJ/m²] estimated as the upper quantile for the Gumbel distribution at the level:		
			p = 80%	p = 90%	p = 95%
Mieszkania / Residential accommodation (apartments)	780	234	948	1085	1217
Sale szpitalne / Hospital rooms	230	69	280	320	359
Pokoje hotelowe / Hotel rooms	310	93	377	431	484
Biblioteki / Libraries	1500	450	1824	2087	2340
Biura / Offices	420	126	511	584	655
Sale szkolne / School classrooms	285	85,5	347	397	445
Centra handlowe / Shopping centres	600	180	730	835	936
Kina, teatry / Cinemas, theatres	300	90	365	417	468
Budynki do obsługi komunikacyjnej w części dostępnej dla ruchu publicznego (np. dworce autobusowe lub kolejowe) / Transport communication buildings accessible by the public (e.g. bus terminals or railway stations)	100	100	122	139	156

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.9

Oszacowania wartości charakterystycznej q_{fk} rekomendowane w eurokodzie [2] jako górny kwantyl rozkładu Gumbela z prawdopodobieństwem nieprzewyższenia w losowej realizacji gwarantowanym na poziomie 80% zestawiono w tabeli 3. Dodatkowo podano w niej wartości odpowiadające podwyższonym wymogom bezpieczeństwa, to znaczy wyższym wartościom prawdopodobieństwa p (czyli odpowiednio 90% i 95%), zalecanym do stosowania przez wielu autorów. Należy jednak podkreślić, że w tym przypadku miarodajne do przeprowadzania analizy nośności w pożarze nie są wartości charakterystyczne q_{fk} a na ogół różne od nich (choć niekoniecznie większe) wartości obliczeniowe q_{fd}, otrzymywane przez przemnożenie wartości charakterystycznych przez współczynniki (mniejsze lub większe od 1) kwantyfikujące warunki prowadzenia akcji gaśniczej. Mają one interpretację współczynników warunków pracy i konsekwencji zniszczenia, znanych z klasycznego ujęcia metody stanów granicznych [21]. Szczegółowe omówienie tej kwestii wymaga jednak osobnego opracowania.

7. Uwagi końcowe

Niniejszy artykuł stanowi rozszerzoną wersję (poprzedzają go bowiem prace [19] i [20]) komentarza autora do stosowanych w praktyce inżynierskiej procedur specyfikacji reprezentatywnej wartości gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej, miarodajnej do prognozowania realnego poziomu bezpieczeństwa w pożarze. W przypadku konkretnej strefy pożarowej zalecanym sposobem postępowania jest przeprowadzenie tradycyjnej inwentaryzacji, ponieważ daje ona w powszechnym odczuciu wynik najbardziej wiarygodny. Wynik ten reprezentuje wartość nominalną pochodzącą z pomiarów, a więc uwzględniającą materiały faktycznie zgromadzone w badanej strefie, a także ich zastane rozmieszczenie. Tego typu konstatacja nie zawsze musi być jednak prawdziwa. Wykazano bowiem, że sama technika prowadzenia inwentaryzacji ma zasadniczy wpływ na otrzymane oszacowanie. Jest on na tyle duży, że w żadnym razie nie może być bagatelizowany. Z tego względu naglącą potrzebą staje się opracowanie jednoznacznych wytycznych w tym zakresie, rekomendowanych do stosowania w krajowej praktyce projektowej. Zauważmy również, że ocena ilościowa uzyskana z inwentaryzacji, czyli w sposób bezpośredni, będzie wiarygodna w zasadzie tylko przez stosunkowo krótki czas, licząc od momentu jej przeprowadzenia. Jakakolwiek zmiana w sposobie użytkowania strefy pożarowej, a nawet samo tylko uzupełnienie zgromadzonych w tej strefie materiałów palnych, skutkuje bowiem zakwestionowaniem wyniku uzyskanego wcześniej. W świetle przytoczonych powyżej argumentów tradycyjna procedura postępowania wydaje się podejściem mało praktycznym i niewątpliwie żmudnym. Alternatywnym rozwiązaniem, rekomendowanym do stosowania w zaleceniach i przepisach dotyczących oceny bezpieczeństwa pożarowego, w tym w szczególności w normach [2] i [5], jest zastąpienie konwencjonalnego podejścia deterministycznego analizą o charakterze probabilistycznym. Pozwala ona na dobrze uzasadnione statystycznie kalibrowanie wartości charakterystycznej gęstości obciążenia ogniowego potraktowanej w tym przypadku jako zmienna losowa. Trzeba jednak uwzględnić fakt, że tego typu wartość miarodajna jest reprezentatywna raczej dla formalnie jednorodnej grupy stref pożarowych o określonym sposobie użytkowania, nie zaś dla konkretnej strefy pożarowej wyodrębnionej z budynku wybranego do analizy. Niemniej jednak wiarygodność uzyskanych w ten sposób wyników została wielokrotnie zweryfikowana eksperymentalnie, choć jest to oczywiście jedynie potwierdzenie o charakterze statystycznym. W rozważaniach na temat polecanej do stosowania w tym zakresie procedury probabilistycznej autor skłania się do rekomendowania algorytmu amerykańskiego, sformalizowanego w normie [5]. W odróżnieniu od analogicznego podejścia europejskiego [2] uwzględnia się w nim bowiem oszacowane na odpowiednio dużej próbie statystycznej ryzyko zawodu rozumianego jako przewyższenie w losowej realizacji wyspecyfikowanej wcześniej wartości charakterystycznej, różnicowane w zależności od sposobu użytkowania rozważanej strefy pożarowej, w tym także od rodzaju konstrukcji nośnej tworzącej i ograniczającej tę strefę oraz od sposobu jej ochrony przed bezpośrednią ekspozycją ogniową. Proste przenoszenie amerykańskich oszacowań ryzyka tego rodzaju na grunt europejski wydaje się jednak mocno ryzykowne. Inna jest bowiem specyfika rozwiązań materiałowo-konstrukcyjnych stosowanych na Starym Kontynencie, inne chyba również uwarunkowania kulturowe wpływające na sposób użytkowania budynków, inne także przepisy prawne. Poza tym z oczywistych względów, przede wszystkim natury ekonomicznej, trudno konstruować jednolite wymagania dla wszystkich, różniących się przecież znacznie między sobą, krajów europejskich. Wprowadzenie nieco bardziej rozbudowanej analizy ryzyka do algorytmu postępowania rekomendowanego w eurokodzie [2] wymagałoby zatem wcześniejszego przygotowania dostosowanego do realiów materiału statystycznego. Niewątpliwie poprawiłoby to wiarygodność uzyskiwanych oszacowań, choć z drugiej strony taka, stosunkowo niewielka, komplikacja procedury obliczeniowej mogłaby wywołać opór w środowisku specjalistów zajmujących się oceną bezpieczeństwa w pożarze. Czytelność interpretacji miarodajnej wartości charakterystycznej q_{fk} wymaga przy tym dodania dwóch założeń upraszczających. Po pierwsze trzeba przyjąć, że wartość ustalona z obliczeń statystycznych (lub w jakikolwiek inny merytorycznie uzasadniony sposób) jest równomiernie rozłożona na całej powierzchni rozpatrywanej strefy pożarowej, co w rzeczywistości na ogół nie jest prawdą. Po drugie zakłada się, choć jest to założenie konserwatywne, że wszystkie materiały brane pod uwagę przy ustalaniu tej wartości zostaną faktycznie spalone w pożarze, co niekoniecznie musi mieć miejsce.

Literatura

[1] PN-B-02852:2001 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Obliczanie gęstości obciążenia ogniowego oraz wyznaczanie względnego czasu trwania pożaru.

[2] PN-EN 1991-1-2. Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.

[3] Yii H.W., *Effect of surface area and thickness on fire load. Fire Engineering Research Report 2000/13*, University of Canterbury, Christchurch, New Zealand, March 2000, ISSN 1173-5996.

[4] Khorasani N.E., Garlock M., Gardoni P., *Fire load: Survey data, recent standards and probabilistic models for office buildings*, "Engineering Structures" 2014, 58, 152-165.

[5] NFPA 557 – Standard for determination of fire loads for use in structural fire protection design, 2012 Edition, National Fire Protection Association, Quincy, MA 02169-7471, USA.

[6] Zalok E., Eduful J.,*Assessment of fuel load survey methodologies and its impact on fire load data*, "Fire Safety Journal", 2013, 62, 299-310.

[7] National Fire Protection Association (NFPA) – Validation of methodologies to determine fire load for use in structural fire protection – final report. The fire protection research foundation – research on support of the NFPA mission. Carleton University, May 2011.

[8] Culver C., *Characteristics of fire loads in office buildings*, "Journal of Fire Technology", 14(1), 1978, 51-60.

[9] VKF and AEAI – Note explicative de protection incendie – Evaluation en vue de la determination de la grandeur des compartiments coupe-feu. Vereinigung Kantonaler Feuerversicherungen (VKF) and Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI), 2007.

[10] Kumar S., Rao C.V.S.K., *Fire loads in office buildings*, "Journal of Structural Engineering" 1997, 123(3), 365-368.
[11] Hietaniemi J., Mikkola E., *Design fires for fire safety engineering*, VTT Working Paper 139, VTT, Finland 2010.
[12] Holm C., Oksanen P., *Palokuorman määrä kerrostalojen asuinhuoneistoissa*, "Palontorjuntatekniikka" 1970, 2, 1-4.
[13] Campbel J.A., *Confinement of fire in buildings. Fire Protection Handbook*, NFPA Handbook, USA 1981.
[14] Bwalya A.C., *An extended survey of combustible contents in Canadian residential living rooms. Research Report No 176*, National Research Council, Ottawa, Canada 2004.
[15] Murzewski J., *Niezawodność konstrukcji inżynierskich*, Arkady, Warszawa 1989.
[16] Bwalya A. C., Sultan M., Benichou N., *A pilot survey of fire loads in Canadian homes*, Research Report No 159, National Research Council, Ottawa, Canada 2004.
[17] Ramachandran G., *Properties of extreme order statistics and application in fire protection and insurance problems*, Fire Safety Journal" 1982, 5(1), 59-76.
[18] Korpela K., Kushner J., *Fire loads in office buildings*, [in:] *Proceedings of the 3rd International Conference on Performance-Based Codes and Fire Safety Design Methods*, Society of Fire Protection Engineers (SFPE), Bethesda, USA 2000.
[19] Maślak M., *Probabilistyczna interpretacja wartości charakterystycznej losowej gęstości obciążenia ogniowego strefy pożarowej*, „Materiały Budowlane" 2014, 10, 90-92.
[20] Maślak M., *Characteristic value of the random fire load density. Probability-based specification depending on the way how the building compartment is used*, [in:] *Proceedings of the International Conference "Applications of Structural Fire Engineering (ASFE 2015)*, F. Wald, I. Burgess, M. Jelčić Rukavina, D. Bjegović, K. Horová (eds.), Dubrovnik, Croatia, October 15-16, 2015, Czech Technical University in Prague, Czech Republic 2015, 68-73.
[21] Maślak M., *Trwałość pożarowa stalowych konstrukcji prętowych*, [w:] *Monografia 370*, Seria *Inżynieria Lądowa*, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2008.

* * *

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

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.10

докт. техн. наук **Чумаченко С.Н./ Chumachenko S.N.**, Ph.D.[1]
канд. техн. наук **Жартовский С.В./ Zhartovskyi S.V.**, Ph.D.[1]
канд. техн. наук **Титенко А.Н./ Titenko A.N.**, Ph.D.[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 19.10.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 06.12.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Методика создания математической модели энергетической составляющей химико-физических процессов, которые происходят в древесине при ее нагревании до начала фазы пламенного горения[2]

Methods of Creating a Mathematical Model of an Energy Component of Chemical and Physical Processes that Occur in Wood When It Is Heated Prior To the Flaming Phase

Metodyka opracowania modelu matematycznego składnika energetycznego procesów chemiczno-fizycznych, które zachodzą w drewnie podczas jego nagrzewania do momentu nastąpienia spalania płomieniowego

АННОТАЦИЯ

Цель. Целью данной работы является создание методики математического моделирования энергетической составляющей химико-физических процессов, которые происходят в древесине при её нагревании до наступления фазы пламенного горения, что даст возможность определить влияние введения антипиренов в поверхностные слои деревянных строительных конструкций на торможение процесса загорания (воспламенения) древесины.
Методология. Используя экспериментальные данные о развитии во времени химико-физических процессов (дериватограмм и данных газохроматографического анализа термодеструкции образца материала), которые происходят при нагревании древесины до момента её воспламенения, находятся формулы аппроксимаций, описывающих зависимости относительного количества веществ, которые выделяются в процессе термолиза во времени. На основании определенных зависимостейв дальнейшем находятся зависимости накопленной искомой энергии, которая выделяется при образовании каждого вещества (вследствие нагревания образца древесины), от температуры, и общую выделенную накопленную искомую энергию. В дальнейшем определяется накопленная искомая энергия всех компонентов и их превращений, с учетом поглощения и выделения энергии от температуры. Вводится понятие эффективной искомой теплоемкости процесса превращений образца древесины (в температурных пределах данного исследования) с учетом всех компонентов и их структурных превращений, имеющих место при нагревании. Решается одномерная задача распространения тепла в изотропном твердом теле, имеющая переменную, зависящую от температуры эффективную теплоемкость. Получены формулы для элементарного объема, размещенного непосредственно на поверхности образца древесины, внутри его и на тыльной стороне.
Результаты. Используя представленную методику, была построена математическая модель энергетической составляющей химико-физических процессов, которые имеют место в образце заболони сосны толщиной 10 мм, плотностью 400-550 кг/м^3, при его нагревании до наступления фазы пламенного горения.
Выводы. Представленная методика предоставляет возможность спрогнозировать необходимое количество антипиренов (для различных огнезащитных пропиточных составов), которое требуется ввести в поверхностные слои древесины (разной породы, толщины, плотности, качества поверхностной обработки и т.п.) для обеспечения продления промежутка времени от начала теплового воздействия до момента воспламенения.

Ключевые слова: огнезащищенная древесина, фаза пламенного горения, антипирены, математическое моделирование, химико-физические процессы
Вид статьи: оригинальная научная работа

[1] Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты / Ukrainian Research Institute of Civil Protection; e-mail: zhart20@ukr.net;
[2] Авторы внесли одинаковый вклад в создание данной статьи / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.10

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is to create a method of mathematical modeling of an energy component of chemical and physical processes that occur in wood when it is heated prior to the flaming phase. This method will make it possible to determine the impact of using flame retardants in the surface layers of wooden building constructions on the processes of wood inflammation.
Methodology: Using experimental data regarding the development in time of chemical and physical processes (derivatograms and data of gas chromatographic analysis of sample material during thermal degradation) that occur during heating of wood prior to its ignition, approximation formulas were obtained. These formulas describe the relationship between the amount of substance emitted in the thermolysis process. Based on the obtained data, we then obtain dependencies between the desired stored energy which is released during the formation of each substance (as a result of heating wood samples) and the temperature, as well as the accumulated total desired energy. Subsequently the required cumulative energy of all components and their transformations is determined, taking into account the absorption and release of energy generated by the temperature. Introduced is the concept of effective heat capacity of the transformation process of a sample piece of wood (within the temperature range of this study) including all the components and their structural transformations that occur during the heating process. Then a one-dimensional problem is solved of heat spread in an isotropic solid, taking into account a variable, effective heat capacity that depends on temperature. Formulas were obtained for the elementary volume, placed directly on the surface of the wood sample, as well as inside it and in the back.
Results: Using the presented methodology we obtain a mathematical model of an energy component of chemical and physical processes that take place in a sample of pine wood (10 mm thick, density 400-550 kg/m^3), when it is heated prior to the flaming phase.
Conclusions: The presented method presents the ability to predict the required amount of flame retardants (for a variety of fire-retardant impregnating compositions) to be entered into the outer layers of wood (different species, thickness, density, quality of surface treatment, etc.) to ensure the extension of the time period from the heat exposure point until the ignition point.

Keywords: wood protected against inflammation, flaming phase, flame retardants, mathematical modeling, chemical and physical processes
Type of article: original scientific article

ABSTRAKT

Cel: Celem pracy jest opracowanie metodyki modelowania matematycznego składnika energetycznego procesów chemiczno-fizycznych, które zachodzą w drewnie podczas jego nagrzewania przed nastąpieniem fazy spalania płomieniowego. Metodyka ta pozwoli określać wpływ zastosowania antypirenów w warstwie powierzchniowej drewnianych obiektów budowlanych na inhibicję procesów zapłonu drewna.
Metodologia: Wykorzystując dane eksperymentalne na temat rozwoju w czasie procesów chemiczno-fizycznych (dane z termogramów i analizy chromatografii gazowej degradacji termicznej próbki materiału), które zachodzą podczas nagrzewania drewna do momentu jego zapłonu, otrzymano wzory aproksymacji, opisujące zależności między ilością substancji wydzielających się w procesie termolizy.
Na podstawie określonych danych następnie otrzymywane są zależności między nagromadzoną poszukiwaną energią, która wydziela się przy powstawaniu każdej substancji (wskutek nagrzewania próbki drewna) a temperaturą, oraz ogólna wartość wydzielanej zgromadzonej energii. Następnie określa się zgromadzoną poszukiwaną energię wszystkich składników i ich przemiany/transmutacji, z uwzględnieniem pochłaniania i wydzielenia energii wytwarzanej przez temperaturę. Wprowadza się pojęcie poszukiwanej efektywnej pojemności cieplnej procesu transmutacji próbki drewna (w zakresach temperatury objętych badaniem) z uwzględnieniem wszystkich składników i zmian zachodzących w ich strukturze podczas nagrzewania. Rozwiązano jednomiarowe zadanie rozprzestrzeniania ciepła w izotropowym ciele stałym, uwzględniające zmienną, zależną od temperatury pojemność cieplną. Otrzymano równania dla objętości elementarnej, bezpośrednio na powierzchni próbki drewna, w środku próbki i z tyłu.
Wyniki: Wykorzystując przedstawioną metodykę, opracowano model matematyczny składnika energetycznego procesów chemiczno-fizycznych, które zachodzą w drewnie sosny o grubości 10 mm, gęstości 400-550 kg/m^3, podczas jego nagrzewania do nastąpienia fazy spalania płomieniowego.
Wnioski: Przestawiona metodyka ukazuje możliwość prognozy potrzebnej ilości antypirenów (dla różnych ogniochronnych środków impregnacyjnych), które należy wprowadzić do warstw zewnętrznych drewna (różnego gatunku, grubości, gęstości, jakości obróbki powierzchniowej itd.) w celu wydłużenia czasu od momentu rozpoczęcia oddziaływania cieplnego do momentu zapłonu.

Słowa kluczowe: drewno chronione przed zapaleniem, spalanie płomieniowe, antypireny, modelowanie matematyczne, procesy chemiczno-fizyczne
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Введение

Анализ мировых тенденций использования экологически безопасных материалов в строительстве свидетельствует о том, что древесина была и остается популярным строительным материалом. Но при этом следует помнить, что древесина является горючим материалом, а продукты её термодеструкции являются чрезвычайно токсичными. Статистический анализ, выполненный в Научно-исследовательском институте пожарной охраны (СССР, Россия), свидетельствует о том, что в XX веке в более, чем 70% случаев на пожарах именно древесина была основным горючим материалом, а количество погибших от общего количества погибших на пожарах составляет 92%. Естественно такой статистикой нельзя довольствоваться, особенно когда речь идет об объектах с массовым пребыванием людей и/или объектах критической инфраструктуры. Следовательно, не теряет актуальность вопрос об качественной огнезащите древесины, которая входит в состав строительных конструкций [1-2].

Для создания соответствующих мероприятий и средств огнезащиты нужно иметь представление о сложном химико-физическом процессе развития пожара и характере его действия на различные объекты. В общем случае эти процессы описываются полной системой уравнений Навье-Стокса [3]: уравнением энергии (включает в себя перенос энергии за счет конвективных процессов, теплопроводности, излучения, диффузии, химических реакций горения пожарной нагрузки), уравнением неразрывности, диффузии, состояния и теплообмена. В связи с неопределенностью ряда предельных условий процесса развития пожара и трудностью учета всех значимых факторов, в том числе с сложностью описания и учета составляющей химических превращений продуктов горения, точное решение указанной системы уравнений является сложнейшей научной проблемой, особенно в контексте решения практических задач по переведению древесины из группы легко воспламеним материалов в группу трудновоспламенимых или трудногорючих материалов.

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 131–137
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.10

Целью данной работы является создание методики математического моделирования энергетической составляющей химико-физических процессов, которые происходят в древесине при её нагревании до наступления фазы пламенного горения, что даст возможность определить влияние введения антипиренов в поверхностные слои деревянных строительных конструкций на торможение процесса загорания (воспламенения) древесины.

2. Методика исследования

Методика состоит из следующих этапов.

Этап 1. Используя экспериментальные данные [4] о развитии во времени химико-физических процессов, которые происходят при нагревании древесины до момента её воспламенения, находим формулы аппроксимаций, описывающих зависимости относительного количества веществ, которые выделяются в процессе термолиза во времени. Интересующий нас участок термограмм, построенной на основе экспериментальных данных и приведенной в [4], показан на рис.1.

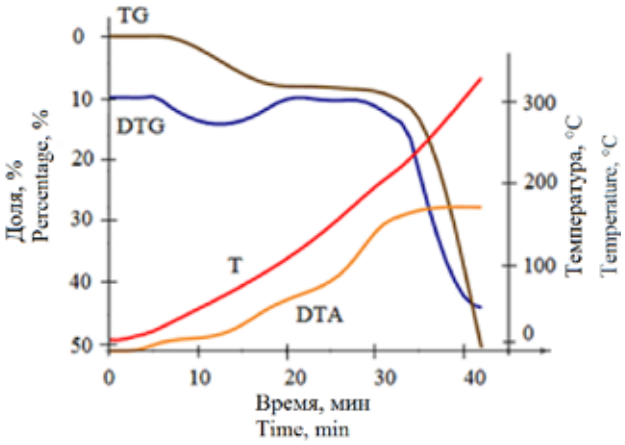


Рис. 1. Термограмма нагревания образца неогнезащищенной древесины (заболонь сосны, плотность – 400-550 кг/м³) [4]
Fig. 1. Heating thermogram of a non-fireresistant wood sample (pine sapwood, density – 400-550 kg/м³) [4]

Используя результаты измерения выхода летучих веществ [4], получаем формулы аппроксимаций зависимостей накопленной массы веществ от времени нагревания. Принимая во внимание специфический характер исследуемых функциональных зависимостей, особенностью которых являются резкие скачки производных в близко размещенных точках, представляется очень неудобным аппроксимирование с использованием полиномиальной или других видов регрессии. Поэтому выбран метод кубической сплайн интерполяции, который генерирует кривые сплайна, которые приближаются к прямой линии, как метод, имеющий хорошие аппроксимирующие свойства и наиболее точное, для данного случая, отображение реальных зависимостей [5]. Результаты аппроксимаций представлены на рис. 2.

Этап 2. Объединяя термограмграммы (зависимость потери массы образца TG, соответствующее этому моменту температуре T, см. рис. 1) и результаты аппроксимации (см. рис. 2) находим зависимости накопленной массы летучих веществ от температуры нагревания (рис. 3).

Этап 3. Используя найденные зависимости количеств различных веществ от температуры в условиях процесса изобарического нагревания, определяем с учётом энтальпии образования каждого из этих веществ [6], зависимости накопленной искомой энергии, которая выделяется при образовании каждого вещества (вследствие нагревания образца древесины), от температуры (1), и общую (2) выделенную накопленную искомую энергию согласно формул:

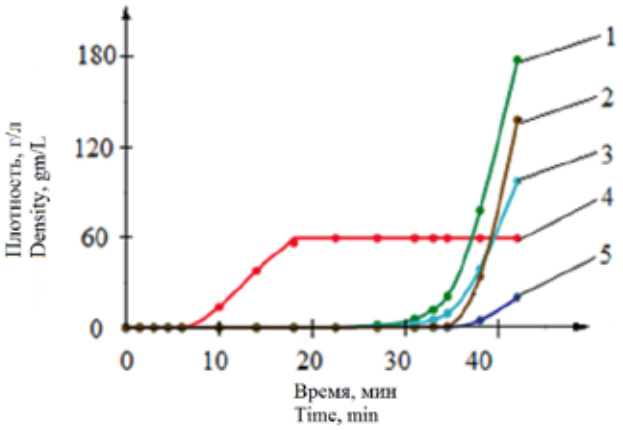


Рис. 2. Зависимость накопленного количества веществ, которые выделились из единичного объема образца незащищенной древесины от времени нагревания. Кривая 1 –диоксид углерода. 2 – Метан. 3 –Монооксидуглерода. 4 – Водяной пар. 5 – Водород.
Fig. 2. The dependence between the accumulated amount of substances, emitted from a single sample of non-fireresistant wood and the heating time. Curve 1 – Carbondioxide. 2 – Methane. 3 – Carbonmonoxide. 4 – Water vapour. 5 – Hydrogen.
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

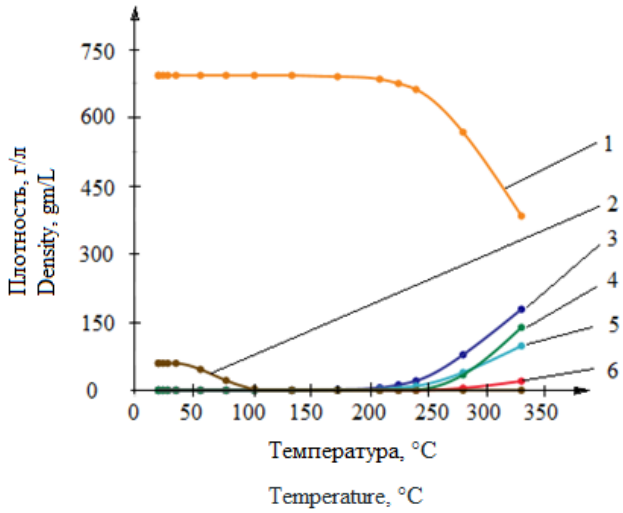


Рис. 3. Зависимость накопленного количества веществ, которые выделяются из единичного объема образца древесины от температуры. Кривая 1 – Целлюлоза. 2 – Водяной пар. 3 – Диоксид углерода. 4 – Метан. 5 – Монооксидуглерода. 6 – Водород
Fig. 3. The dependence between the accumulated amount of substances, emitted from a single sample volume of wood, and the temperature. Curve 1 – Cellulose. 2 – Water vapor. 3 – Carbon dioxide. 4 – Methane. 5 – Carbon monoxide. 6 – Hydrogen
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

$$A_i(T_{pr}) = \frac{1}{v} \cdot \frac{\Delta H_i}{mol_i} \cdot m_i(T_{pr}), \text{ (Дж/куб. м)}, \quad (1)$$

где, v – единичный объем образца древесины, из

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.10

которого выделяются летучие вещества разложения древесины при нагревании,

ΔH_i – энтальпия образования i – го компонента,
mol_i – молекулярнаямасса i– го компонента,
$m_i(T_{pr})$ – масса i – го компонента, которая определяется температурой процесса,
T_{pr} – температура процесса.

$$A(T_{pr}) = \sum_{i=1}^{n} A_i(T_{pr}) \ , (\text{Дж/куб. м}) \qquad (2)$$

Результаты расчетов графически представлены на рис. 4 (кривые 1-3 согласно формулы (1), кривая 4 согласно формулы 2 (2)).

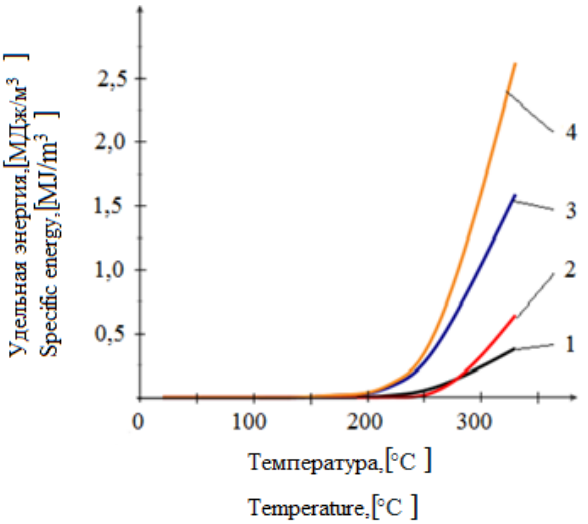


Рис. 4. Зависимость накопленной искомой энергии, которая выделяется при образовании летучих компонентов разложения древесины при нагревании. Кривая 1 – Монооксидуглерода. 2 – Метан. 3 – Диоксид углерода.4 - Суммарная величина искомой энергии
Fig. 4. The dependence between the desired accumulated energy, which is released during the formation of the volatile components of wood decomposition and the heating. Curve 1 – Carbon monoxide. 2 – Methane. 3 – Carbon dioxide.4 – The total value of desired energy
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

При нагревании имеет место нагрев всех веществ (продуктов) разложения древесины. Величина этой накопленной энергиидля условий процесса изобарического нагревания, согласно [7], определяется по формулам:

$$B_i(T_{pr}) = \frac{1}{v} \cdot c_i \cdot m_i(T_{pr}) \ , (\text{Дж/куб. м}) \qquad (3)$$

где, v – единичный объем образца древесины, из которого выделяются летучие продукты разложения древесины при нагревании,
c_i – искомая теплоемкостьi – го компонента,
$m_i(T_{pr})$ – масса i – го компонента, которая определяется температурой процесса,
T_{pr} – температура процесса.

$$B(T_{pr}) = \sum_{i=1}^{n} B_i(T_{pr}) \ , (\text{Дж/куб. м}) \qquad (4)$$

Результаты расчетов графически представлены на рис. 5 (кривые 1-6 согласно формулы (3), кривая 7 согласноформулы (4)).

Этап 4. В дальнейшем определяется накопленная искомая энергия всех компонентов и их превращений, с учетом поглощения и выделения энергии, которые имеют место при нагревании образца древесины, от температуры. Расчеты ведутся по формуле:

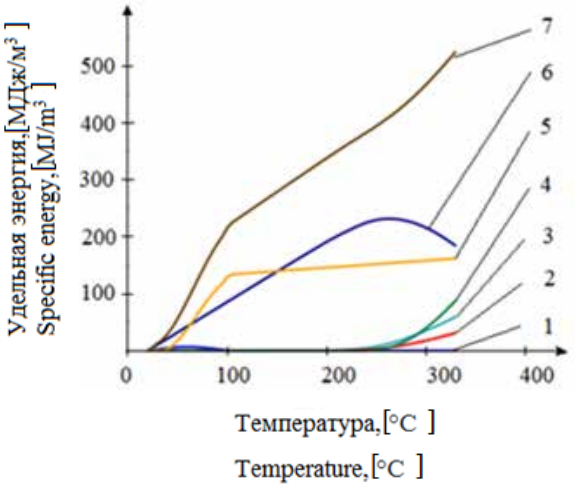


Рис. 5. Зависимость накопленной искомой энергии, которая поглощается при образовании летучих компонентов разложения древесины в процессе нагревания. Кривая 1 – Вода.2 – Монооксидуглерода. 3 – Диоксид углерода. 4 – Водород. 5 – Водяной пар. 6 – Целлюлоза. 7 – Суммарная искомая энергия всех веществ.
Fig. 5. The dependence of desired accumulated energy that is absorbed during the formation of the volatile components in the wood sample during heating. Curve 1 – Water. 2 – Carbon monoxide. 3 – Carbon dioxide. 4 – Hydrogen. 5 – Water vapor. 6 – Cellulose. 7 – The total desired energy of all substances
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

$$E(T_{pr}) = -A(T_{pr}) + B(T_{pr}) \ , (\text{Дж/м}^3) \qquad (5)$$

Графически эта зависимость имеет вид кривой 1 на рис. 6.

Введем понятие эффективной (или суммарной) искомой теплоемкости процесса превращений образца древесины (в температурных пределах данного исследования) с учетом всех разом взятых компонентов и их структурных превращений, имеющих место при нагревании. Эта величина (с достаточной для поставленной задачи точностью) является аналогом искомой теплоемкости исследуемого материала (образца древесины). Она учитывает выделение и поглощение энергии образца древесины при соответствующих температурах процесса. Определяется эффективная теплоемкость как производная от $E(T_{pr})$:

$$c_{p_wood}(T_{pr}) = \frac{d(E(T_{pr}))}{dT_{pr}} \ , (\text{Дж/К*м}^3) \qquad (6)$$

где, $E(T_{pr})$ – накопленная искомая энергия, согласно формулы (5),
T_{pr} – текущее время процесса.
Поведение этой функции проиллюстрировано на рис. 6 (кривая 2).

Этап 5. Находим математическое описание энергетической составляющей химико-физических процессов, которые проходят в образце древесины при его нагревании до наступления фазы пламенного горения. Для этого решается одномерная задача распространения тепла в изотропном твердом теле, имеющая переменную, зависящую от температуры эффективную теплоемкость, ко-

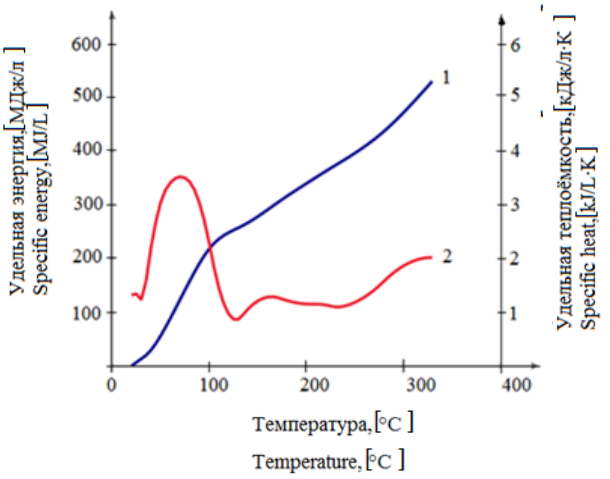


Рис. 6. Зависимость искомых энергетических характеристик процесса нагревания образца древесины от температуры. Кривые: 1- зависимость суммарной накопленной поглощенной искомой энергии от температуры; 2 – зависимость эффективной теплоемкости всех компонентов и их превращений, имеющих место при нагревании образца древесины, от температуры
Fig. 6. The dependence of the required energy characteristics of wood sample heating process on temperature.Curves: 1-dependence of the total required accumulated energy absorbed on temperature; 2 - the dependence of the effective heat capacity of all components and their transformations, that occur during heating of the wood sample, on temperature
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

торую определили по формуле (6), что проиллюстрировано на рис. 6 (кривая 2). Уравнение теплопроводности (согласно [8]), для нашего случая будет иметь вид:

$$c_{p_wood}(T)\cdot\frac{\partial T}{\partial t}=\chi\frac{\partial^2 T}{\partial x^2}\ ,\ (\text{Дж/с}) \qquad (7)$$

где, $c_{p_wood}(T)$ – эффективная теплоёмкость образца древесины, согласно (6), (Дж/К*м³),

T – текущая температура процесса, (К),

χ – коэффициент теплопроводности древесины, (Вт/м*К).

Начальные и граничные условия для нашего случая:

$$T(x,t=0)=20°C$$
$$\chi\cdot\left.\frac{\partial T}{\partial x}\right|_{x=0}=\omega \qquad (8)$$

где, ω внешний поток тепла (Вт/м²).

Учитывая поведение функции $c_{p_wood}(T)$, эффективной теплоемкости древесины (см. рис. 6, кривая 2), для решения поставленной задачи применим метод приближенной численной итерации по схеме концевых разностей первого порядка согласно [9]. Расчет ведется в двухмерном пространстве дискретных координат времени с индексом*i* и линейной пространственной координаты с индексом *j*. Критерием достоверности расчетных результатов считается относительная погрешность при сравнении двух результатов расчетов при уменьшении элементарного прироста времени и линейной координаты. Диаграмма итерационных формул приведена на рис. 7.

В узлах диаграммы, каждый из которых представляет собой определенный элементарный объем *j*образца древесины, взятый в определенный момент времени *i*, указаны следующие параметры элементарного объема: *i, j* – номер узла; $T_{i,j}$– температураи$c_{i,j}$ – эффективная теплоёмкостьэлементарного объема*j*в момент времени*i*.

Таким образом, согласно принятого алгоритма расчета, получаем следующие формулыдля элементарного объема, размещенного непосредственно на поверхности образца древесины:

$$T_{i,1}=T_{i-1,1}+\omega\cdot\Delta t-\frac{\chi\cdot S\cdot(T_{i-1,1}-T_{i-1,2})\cdot\frac{\Delta t}{\Delta x}}{c_{p_wood}(T_{i-1,1})\cdot S\cdot\Delta x} \qquad (9)$$

Для промежуточных значений температуры элементарных объемов, которые размещены внутри массива материала:

$$T_{i,j}=T_{i-1,j}+\frac{\chi\cdot S\cdot\left(\frac{T_{i-1,j-1}-T_{i-1,j}}{\Delta x}-\frac{T_{i-1,j}-T_{i-1,j+1}}{\Delta x}\right)\cdot\Delta t}{c_{p_wood}(T_{i-1,j})\cdot S\cdot\Delta x} \qquad (10)$$

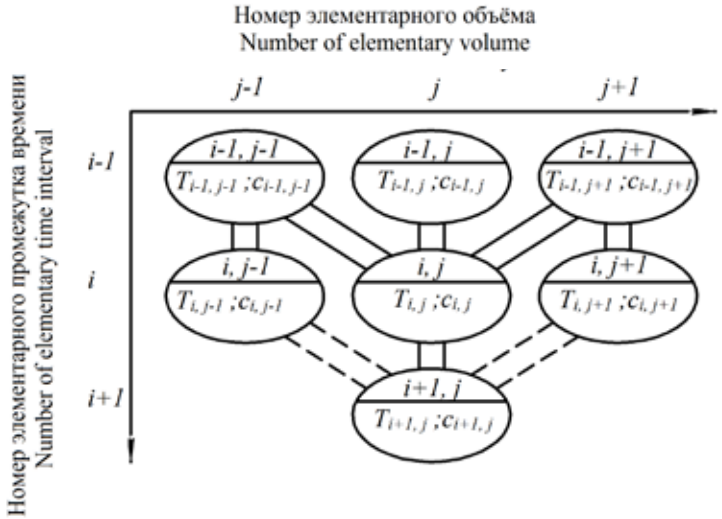


Рис. 7. Диаграмма расчета поитерационным формулам
Fig. 7. The diagram of the iterative formulas calculation
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.10

Для обратной стороны образца древесины, который не нагревается внешним источником тепла:

$$T_{i,j_\lim} = T_{i-1,j_\lim} + \frac{\chi \cdot S \cdot \left(\frac{T_{i-1,j_\lim-1} - T_{i-1,j_\lim}}{\Delta x} \right) \cdot \Delta t}{c_{p_wood}(T_{i-1,j_\lim}) \cdot S \cdot \Delta x} \quad (11)$$

3. Результаты и их обсуждение

Используя представленную методику, была построена математическая модель энергетической составляющей химико-физических процессов, которые имеют место в образце неогнезащищенной древесины (заболони сосны толщиной 10 мм, плотностью 400-550 кг/м^3) при его нагревании до наступления фазы пламенного горения.

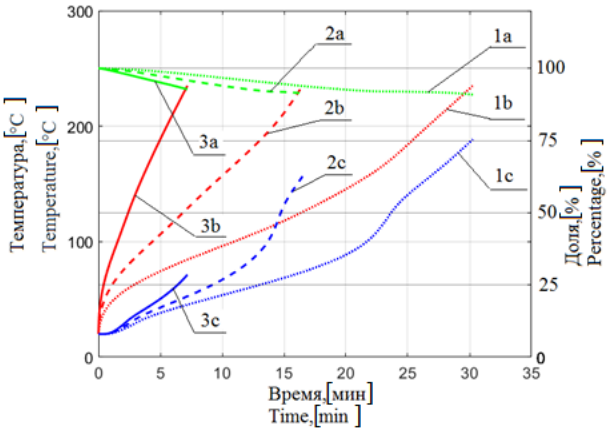


Рис. 8. Результаты расчетов основных характеристик процессов, имеющих место при нагревании образца неогнезащищенной древесины (заболонь сосны толщиной 10 мм) до момента воспламенения

Fig. 8. The results of calculations of the main characteristics of the processes that takes place when the non-fireresistant wood sample is heated (pine sapwood, thickness of 10 mm) up to the moment of ignition

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

На рис. 8 приводятся ключевые зависимости, полученные при помощи указанной модели (три семейства кривых):

1. Семейство кривых 1, что отвечает уровню теплового облучения 10 Вт/см^2. Кривая 1a – зависимость твердой массы образца от времени, кривая 1b – зависимость температуры внешней поверхности, которая облучается, кривая 1c– температура задней поверхности, которая не находится под действием теплового облучения.
2. Семейство кривых2, что отвечает уровню теплового облучения 20 Вт/см^2. Кривая 2a – зависимость твердой массы образца от времени, кривая 2b – зависимость температуры внешней поверхности, которая облучается, кривая 2c– температура задней поверхности, которая не находится под действием теплового облучения.
3. Семейство кривых 3, что отвечает уровню теплового облучения 40 Вт/см^2. Кривая3a – зависимость твердой массы образца от времени, кривая 3b – зависимость температуры внешней поверхности, которая облучается, кривая 3c – температура задней поверхности, которая не находится под действием теплового облучения.

Как видно из рис. 8, температура воспламененияне-огнезащищенной древесины равна приблизительно 235°C. Такие же значения получены экспериментально по методике стандарта [10], что подтверждает адекватность разработанной математической модели.

4. Выводы

Предложенная методика предоставляет возможность построения математической модели составляющей химико-физических процессов, протекающих в образце материала при его термодеструкции до температуры пламенного горения. Таким образом появляется возможность спрогнозировать необходимое количество антипиренов (для различных огнезащитных пропиточных составов), которое требуется ввести в поверхностные слои древесины (разной породы, толщины, плотности, качества поверхностной обработки и т.п.) для обеспечения продления промежутка времени от начала теплового воздействия до момента возгорания (воспламенения). А это, в свою очередь, создает возможность прогнозного расчета продления начальной стадии развития пожара в зависимости от расхода огнезащитного средства (качества обработки).

Литература

[1] Lowden L.A., Hull T.R., *Flammability behaviour of wood and a review of the methods for its reduction*, "Fire Science Reviews" 2013, 2(4), 19, [electr. doc.], http: //www. firesciencereviews. com/content/2/1/4 [accessed: 5.08.2013].

[2] Baratov A.N., Andrianov R.A., Korol'chenko A.Ya. et. al., *Pozharnaya opasnost' stroitel'nykh materialov,* Stroyizdat, Moskva 1998, 380.

[3] Kutateladze S.S., *Osnovy teorii teploobmena*, Atomizdat, Moskva 1979, 416.

[4] Andriyenko V.M., But V.P., Zhartovs'kyy V.M., Zhartovs'kyy S.V., Maladyka I.H., Tsapko Yu.V., *Vohnezakhystderevyny ta vyrobiv z neyi: Navchalnyy posibnyk*, APB im. Heroyiv Chornobylya MNS Ukrayiny, Cherkasy 2009, 254.

[5] Rodzhers D., Adams Dzh., *Matematicheskiye osnovy mashinnoy grafiki*, Mir, Moskva 2001, 604.

[6] Lautenschlager K.-Kh, Bibrak Kh., Shnabel A., Shreter V., *Khimiya: Spravochnik*, Khimiya, Moskva 1989, 648.

[7] Bolgarskiy A.V., Mukhachev G.A., Shchukin V.K., *Termodinamika i teploperedacha*, 2nd ed.,Vysshaya shkola, Moskva 1975, 495.

[8] Aramanovich I.G., Levin V.I., *Uravneniya matematicheskoy fiziki*, Nauka, Moskva 1969, 288.

[9] Korn G., Korn T., *Spravochnik po matematike dlya nauchnykh rabotnikov i inzhenerov*, Nauka, Moskva 1973, 832.

[10] GOST 12.1.044-89 SSBT. Pozharovzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazateley i metody ikh opredeleniya.

* * *

Чумаченко Сергей Николаевич – доктор технических наук, начальник отдела моделирования чрезвычайных ситуаций Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты, г. Киев, Украина. Область научных интересов: математическое и имитационное моделирование систем, прогнозирование и управление риском возникновения чрезвычайных ситуаций.

Жартовский Сергей Владимирович – кандидат технических наук, научный сотрудник Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты, г. Киев, Украина. Область научных интересов: методология предупреждения чрезвычайных ситуаций, обусловленных загораниями и пожарами, на объектах критической инфраструктуры.

Титенко Александр Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Украинского научно-исследовательского института гражданской защиты, г. Киев, Украина. Область научных интересов: математическое и имитационное моделирование химико-физических процессов термодеструкции различных веществ и материалов.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 139–149

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.11

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

Przyjęty/Accepted/Принята: 16.10.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 10.12.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Особенности флегматизирования гептановоздушной среды бинарной смесью аэрозоля с азотом

Specific Nature of Phlegmatizing Air-Heptan Mixture using Aerosol and Nitrogen Binary Mixture

Specyfika flegmatyzacji mieszanki powietrza z heptanem przy pomocy mieszaniny binarnej aerozolu z azotem

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель работы состоит в определении особенностей флегматизирования стехиометрической гептановоздушной среды бинарной смесью аэрозоля с азотом, а также в определении концентраций и времени сгорания горючей смеси при разных соотношениях компонентов указанных смесей.
Методы: Для определения особенностей флегматизирования н-гептана, бинарными смесями аэрозоля с азотом была использована установка в виде толстостенного цилиндрического стеклянного сосуда объемом 0,5 литра с мощным электрическим источником зажигания, расположенным внутри цилиндра, в котором смешивали азот с аэрозолем и с гептановоздушной смесью. Замедленная съемка процесса взрыва смесей проведена камерой Nikkon 1 j4 с возможностью получения 1200 кадров в секунду.
Результаты: Результаты экспериментов показали, что значение флегматизирующей концентрации аэрозоля, полученного из АОС на основе идитола, для стехиометрической гептановоздушной смеси составляет 66 г/м^3. Также получена зависимость флегматизирующей концентрации бинарной смеси от соотношения компонентов в ней, при условии, что индивидуальная флегматизирующая концентрация азота составляет 44%. Установлено, что оптимальные соотношения компонентов указанной смеси лежат в таких пределах: аэрозоль – 20-35 г/м^3, N_2 – 15% – 8%. Подтвержден значительный огнепреградительный эффект бинарной смеси, который заключается в ограничении распространения фронта пламени на весь объем горючей смеси. При этом огненная сфера затухает, не достигая стенок цилиндра.
В результате проведенных экспериментов подтверждено также синергическое взаимодействие между компонентами бинарной аэрозольно-азотной смеси, что проявляется в резком снижении концентрации ее компонентов благодаря их комбинированному действию, которые действуют одновременно как тепловые флегматизаторы и химические ингибиторы. Получены раскадровки процессов взрывного сгорания при добавлении к стехиометрической смеси бинарных аэрозольно-азотных смесей, которые подтверждают значительный огнепреградительный эффект при одновременном снижении концентрации аэрозоля и концентрации азота до 3 раз, что обеспечивает концентрацию кислорода, необходимую для жизнедеятельности человека.
Выводы: В работе показан эффект ограничения распространения пламени на полный объем топливной смеси при добавлении бинарной аэрозольно-азотной смеси к горючей гептановоздушной смеси. Полученный эффект интересен с практической точки зрения: для обеспечения пожарной и взрывобезопасности на объектах с наличием легковоспламеняющихся газов, жидкостей и их смесей. Практическое применение бинарной смеси на тушение и флегматизация будут способствовать уменьшению масштабов разрушений в результате ограничения распространения пламени на весь объем однородной топливовоздушной смеси.

Ключевые слова: взрыв, пожар, флегматизация, азот
Вид статьи: оригинальная научная статья

ABSTRACT

Purpose: The purpose of the work is to determine the characteristics of phlegmatization of stoichiometric air-heptan mixture with aerosol-nitrogen binary mixture, as well as to determine the concentration and combustion time of the combustible mixture in different ratios of the components of these mixtures.
Methods: To determine the characteristics of n-heptan phlegmatization using aerosol-nitrogen binary mixtures, an installation was used of a thick-walled cylindrical glass vessel of 0.5 liter capacity with a powerful electric ignition source placed inside it. An aerosol-nitrogen mixtured was combined with an air-heptane mixture. Time-lapse shots of the explosion process were captured by Nikon 1 j4 camera which can capture 1200 frames per second.
Results: The results of the experiments showed that the value of phlegmatization concentration of aerosol obtained on the basis of the mixture for

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

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.11

aerosol formulation based on iditol for the stoichiometric mixture is 66 g/m^3. Also obtained was the dependence between the concentration of the mixture of the phlegmatizer and the proportion of the content of its ingredients, taking into account the condition that a single concentration of the phlegmatizer (the aerosol-nitrogen mixture) is 44%. It was also discovered that the optimum ratio of the components of the mixture are as follows: aerosol – 20-35 g/m^3, N_2 – 15%-8%. Significant fire resistant efficacy of the binary mixture has been shown, which is meant to reduce the spread of the flame front over the whole volume of the combustible mixture, when the fireball dies before touching the walls of the cylinder. As a result of the conducted experiments, the synergistic interaction between components of the binary aerosol-nitrogen mixture was also confirmed, which is manifested by a sudden decrease in concentration of its components due to their combined action. The components of the mixture act both as heat phlegmatizers and chemical inhibitors. Shots were obtained of combustion processes resulting from explosion while adding aerosol-nitrogen binary mixtures to a stoichiometric binary mixture. The shots confirmed the phenomenon that fire reduced by a phlegmatizer while the concentration of aerosol and nitrogen is decreased three times, which ensures maintaining the oxygen concentration at a level suitable to maintain human life processes

Conclusions: The paper presents the effect of reducing the spread of flames over the entire volume of the fuel mixture of heptane and air when the aerosol-nitrogen binary mixture was added. The effect is interesting from a practical point of view: in order to ensure fire safety and explosion protection of buildings (sites) where there are flammable gases, liquids and mixtures thereof. Practical application of the binary mixture for extinguishing and phlegmatization will result in reducing the scale of destruction due to limiting the spread of flames over the entire volume of the homogeneous fuel-air mixture.

Keywords: explosion, fire, phlegmatization, nitrogen
Type of article: original scientific article

ABSTRAKT

Cel: Celem pracy jest określenie specyfiki flegmatyzacji stechiometrycznej mieszaniny heptanu z powietrzem mieszaniną binarną aerozol-azot, a także określenie wartości stężeń i czasu spalania mieszaniny palnej przy różnych proporcjach składników obydwu tych mieszanin.
Metody: Do określenia cech charakterystycznych flegmatyzacji n-heptanu binarnymi mieszankami aerozol-azot wykorzystano stanowisko w formie grubościennego cylindrycznego szklanego naczynia o objętości 0,5 l z umieszczonym w środku elektrycznym źródłem zapłonu o dużej mocy. W naczyniu zmieszano mieszankę aerozol-azot z mieszaniną heptan-powietrze. Poklatkowe ujęcia procesu wybuchu wykonano kamerą Nikon 1 j4 z możliwością otrzymania 1 200 klatek na sekundę.
Wyniki: Wyniki eksperymentów wykazały, że wartość stężenia aerozolu, otrzymanego z mieszaniny na bazie iditolu, konieczna do przeprowadzenia procesu flegmatyzacji stechiometrycznej mieszanki powietrza z heptanem wynosi 66 g/m^3. Otrzymano również zależność między stężeniem mieszaniny flegmatyzatora a proporcją zawartości jego składników, z uwzględnieniem warunku, że pojedyncze stężenie flegmatyzatora (mieszaniny aerozolu z azotem) wynosi 44%. Stwierdzono, że optymalne proporcje składników danej mieszaniny są następujące: aerozol – 20-35 g/m^3, N_2 – 15%-8%. Udowodniono znaczną skuteczność ogniochronną mieszaniny binarnej, która polega na ograniczeniu rozprzestrzeniania się czoła płomieni na całej objętości mieszaniny palnej. Przy tym kula ognia wygasa przed dotknięciem ścian cylindra. W wyniku przeprowadzonych eksperymentów potwierdzono również synergetyczne oddziaływanie między składnikami binarnej mieszaniny aerozol- azot, które przejawia się w nagłym spadku stężenia jej składników wskutek ich złożonego działania. Składniki mieszaniny działają jednocześnie w roli flegmatyzatorów cieplnych i inhibitorów chemicznych. Otrzymano ujęcia z procesów spalania spowodowanego wybuchem podczas dodawania do stechiometrycznej mieszaniny binarnych mieszanek aerozolu z azotem. Ujęcia potwierdziły zjawisko ograniczania ognia przez flegmatyzator przy jednoczesnym trzykrotnym spadku stężenia aerozolu i azotu, które zapewnia utrzymanie stężenia tlenu na poziomie odpowiednim do utrzymania procesów życiowych człowieka.
Wnioski: W pracy przedstawiono zjawisko ograniczenia rozprzestrzeniania się płomieni na całej objętości mieszaniny paliwowej heptanu z powietrzem podczas dodania do niej binarnej mieszaniny aerozol-azot. Uzyskany efekt jest intersujący z praktycznego punktu widzenia: w celu zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego oraz zabezpieczenia przez wybuchem obiektów, w których znajdują się łatwopalne gazy, ciecze i ich mieszaniny. Praktyczne zastosowanie mieszaniny binarnej do gaszenia i flegmatyzacja będą skutkować zmniejszeniem skali zniszczeń dzięki ograniczeniu rozprzestrzeniania się płomieni na całej objętości jednorodnej mieszaniny paliwowo-powietrznej.

Słowa kluczowe: wybuch, pożar, flegmatyzacja, azot
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

1. Вступление

Защита и предупреждение пожаров и взрывов является актуальной проблемой в связи с постоянным расширением спектра горючих веществ, которые могут образовывать гомогенные горючие паро-газовоздушные смеси способные гореть и взрываться при контакте с источником зажигания. В настоящее время остается открытым вопрос разработки компактных и недорогих систем для тушения и флегматизирования горючих сред с большими, сложными и опасными для доступа объемами, а также объектов с возможным пребыванием людей во время тушения или флегматизирования. В перечень таких объектов входят нефтяные танкеры, резервуары для хранения нефти и нефтепродуктов, железнодорожные цистерны для горючих жидкостей, кабельные тунели, склады с легковоспламеняющимися жидкостями, боеприпасами, моторные отсеки боевых машин, самолетов, объекты энергетической промышленности машинные залы электростанций, электрические подстанции, а также объекты с возможным временным пребыванием людей в условно герметичных объемах – трюмах кораблей, подводных лодках, гаражах и проч. Для предотвращения пожаров и взрывов горючих смесей на таких объектах сегодня используют в основном порошковые, хладоновые и газовые системы пожаротушения, но они имеют ряд недостатков: высокая стоимость, большие габариты, сложность монтажа, а их эффективность бывает недостаточной для обеспечения соответствующего уровня флегматизации горючей смеси при разгерметизации защищаемого объема. Известно, что объемные средства для достижения огнетушащего эффекта методом заполнения в большинстве случаев токсичны, особенно это касается хладонов. Кроме того, это может служить причиной летальных последствий в случае несанкционированного срабатывания таких систем и во время пребывания там людей. К тому же, в связи с климатическими изменениями на планете, остро стоит вопрос использования для пожаротушения экологически чистых средств пожаротушения и ограничения выброса хладонов, CO_2 и других парниковых газов в атмосферу.

В наше время существует альтернатива – применение экологически чистых огнетушащих компонентов, в частности азота, и огнетушащих аэрозолей, получаемых сжиганием аэрозольобразующих соединений, состоящих из окислителя и топлива пластификатора. Сочетание преимуществ азота, как экологически чистого, относительно эффективного и дешевого огнетушащего средства с преимуществами огнетушащего аэрозоля позволит получить эффективную бинарную смесь с такими заявленными параметрами, как высокая огнетушащая способность, экологическая чистота, невысокая стоимость и способность эффективно подавлять пламя при концентрации кислорода более 15%, что позволит обеспечивать жизнедеятельность человека в такой среде определенное время.

2. Анализ результатов последних исследований

В соответствии с Монреальским протоколом [1], CO_2 относится к парниковым газам, выброс которых регламентируется, а исследования инновационных экологически безопасных технологий являются приоритетными и соответствуют пункту 4 статьи 2 Протокола. С целью уменьшения выброса CO_2 в атмосферу и достижения пригодной для жизнедеятельности среды, как было указано в цели работы, целесообразно также использовать азот N_2, который широко применяют в качестве экологически чистого флегматизирующего и огнетушащего агента [2-3]. Азот, как огнетушащий агент, имеет такие ценные характеристики: химически нейтрален к большинству веществ, недорогой, недефицитный, молярная плотность – 28.01 г/моль, что дает возможность равномерно заполнять объем. Огнетушащая концентрация N_2 составляет для этанола (C_2H_5OH) 36,8%, гексана (C_6H_{14}) – 30,6% и для н-гептана (C_7H_{16}) – 33,6%, [3]. Минимальная расчетная флегматизирующая концентрация N_2 составляет 43,9%, что выше значения минимальной флегматизации для хладонов в 3-4 раза [4].

Существуют и смеси газов, которые разработчики представляют, как экологически чистые, но авторы [5] указывают, что смесь газов, содержащая 52% азота, 40% аргона и 8% диоксида углерода, не оставляет химических производных, не токсична в любых концентрациях. Указанная смесь при введении в объем тушит пламя путем уменьшения концентрации кислорода ниже уровня поддержания горения (12,5%), и это при одновременном увеличении концентрации кислорода CO_2 до 4% в защищаемом объёме. Соответственно такая газовая среда опасная для жизнедеятельности человека, хотя и является относительно экологически чистой. Как видно, указанные концентрации газа, являются достаточно высокими и обеспечивают флегматизацию только благодаря теплофизическим характеристикам и разбавлению горючей среды. Повысить эффективность флегматизирования газа можно путем добавления к инертному газу огнетушащего аэрозоля, принимая во внимание результаты исследований дисперсных смесей ингибиторов и газов.

Известно [6-7], что аэрозольобразующая смесь (АОС) состоит из окислителя – как правило KNO_3, $KClO_4$, $KClO_3$, горючего пластификатора – идитола, эпоксидно-диановой смолы, лактозы и др, и в отдельных рецептурах газифизирующих добавок – дициандиамида ($(NH_2)_2C=N—C=N$) дифениламида ($(C_6H_5)_2NH$) и проч. При горении АОС, в атмосферу выбрасываются ультрадисперсные неорганические соли калия – K_2CO_3 •2 H_2O, КОН, $KHCO_3$, и проч., а также в небольшом количестве – CO_2, N_2 и другие газы. Образующийся аэрозоль может быть устойчивым в воздухе и обеспечивает огнетушащую концентрацию 40-50 g/m^3 около 20 минут [8]. Но учитывая размеры частиц аэрозоля, которые составляют в среднем около 5 мкм, огнетушащая эффективность аэрозолей соответственно на несколько порядков выше огнетушащей концентрации порошков и составляет для углеводородов 30-70 г/м^3 [9], что находится на грани безопасных концентраций для человека. В работах многих авторов освещается зависимость огнетушащей эффективности от размера частиц огнетушащего вещества. Так в работе [10] показано, что с уменьшением размера частиц от 100 до 20 мкм огнетушащая эффективность тушения дисперсными частицами солей KCl, NaCl, K_2CO_3, $KHCO_3$ и проч., резко возрастает, как допускают авторы, благодаря теплопоглощению и испарению частиц в пламени. В работе [11] также показано, что огнетушащая эффективность всех огнетушащих порошков увеличивается с ростом степени дисперсности, а автор [12] указал, что чем мельче частицы, тем быстрее и больше они будут прогреваться и отбирать тепло от зоны химической реакции за единицу времени и тем быстрее будет остывать пламя. Однако разбавление зоны горения и отвод тепла частицами порошка является недостаточным для того, чтобы полностью прекратить горение. Так, в работе [13] было показано, что огнетушащий эффект порошков, благодаря ингибированию на основе солей щелочных металлов значительно превышает эффект охлаждения или разбавления, то есть аэрозольные частицы способны эффективно тормозить химические реакции горения, действуя как ингибиторы.

Авторы работ [14-17] показали, что существует прямая зависимость между размерами частиц и огнетушащей эффективностью огнетушащего вещества дисперсной фазы, которая проявляется благодаря возможному испарению этих частиц в пламени, которые потом действуют по схеме гетерогенно-гомогенного механизма. Подтверждают это авторы [18], которые обнаружили, что дисперсные соли $KHCO_3$ и $NaHCO_3$ с уменьшением размеров частиц 63 мкм до 38 мкм при тушении пропано-воздушного бунзеновского факела увеличивают свою эффективность благодаря уменьшению огнетушащей концентрации 100 г/м³ до 30 г/м³. Известно, что аэрозольобразующие соединения при сгорании образуют аэрозоль с размерами частиц 1-5 мкм с соотношением до 80% [9]. Так, например, аэрозольобразующая смесь СТК-5-1 которая состоит из идитола ($C_{13}H_{12}O_2$), нитрата калия (KNO_3) и технических добавок, при горении выделяет K_2CO_3*$2H_2O$, КОН, KNO_2, CO_2, N_2, с распределением размеров частиц D<2μm (42%) D=2-5μm (38%) D >5 (20%) μm [9]. При этом в продуктах горения АОС различного состава, которые зависят от вида горючего пластификатора и окислителей, а также от их соотношения, может находиться в среднем 0,5 л газовых компонентов (CO_2, H_2O, N_2,), причем продукты неполного сгорания (NxOy, CO) во внимание не принимали, исходя из условия, что их содержание незначительно. Примерные соотношения газовых компонентов аэрозоля, который образуется в результате сгорания 1 г АОС на основе лактозы и идитола, показаны в таблице 1 [19].

При добавлении азота к указанному аэрозолю огнетушащая эффективность полученной бинарной аэрозольно-азотной смеси (БААС) должна увеличиться. Получение такого эффекта подтверждают авторы, [20] указывающие на синергизм физических и химических компонентов смеси и в результате снижение огнетушащей концентрации физического компонента при добавлении лишь 1,52% химического ингибитора. Значительное увеличение огнеподавляющей эффективности при

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.11

Таблица 1. Характеристики рецептур АОС на основании органических горючих [19]
T**able 1.** Specifications of the mixture for aerosol formulation recipes based on organic fuels [19]

Соотношение компонентов АОС [% масс] / Components ratio of the mixture for aerosol formulation [% weight]				**Продукты горения / Combustion products**			
				газовая фаза Vл/гр АОС / gas phase V l/g AMM			**V газов л/г АОС Gas V l/g mixture for aerosol formulation**
Горючее / Fuel		**KNO_3**	**$KClO_4$**	**CO_2**	H_2O	**N_2**	
Идитол / Iditol	17	83	-	0,2522	0,1164	0,0916	0,47
Лактоза / Lactose	32	68	-	0,2354	0,2354	0,075	0,55
Идитол / Iditol	15	69	16	0,2118	0,0977	0,0767	0,39
Лактоза / Lactose	27,6	60	12,4	0,2063	0,2063	0,0666	0,48

комплексном применении дисперсных огнетушащих средств и газов подтверждают и другие авторы. Так в работе [21] отмечается, что с помощью смеси свободных радикалов-производителей и агентов N_2 или CO_2, может быть достигнуто уменьшение концентрации химических агентов в 3-4 раза. Анализ общих закономерностей процессов ингибирования показывает, что повысить эффективность ингибирующих средств можно снизив содержание окислителя в горючей смеси, причем не во всем помещении, а только в зоне действия ингибирующих веществ, тоесть в зоне горения. Таким образом, делает вывод автор [22], негорючие газообразные компоненты дополнительно разбавляют горючую систему, снижают концентрацию кислорода и тем самым резко повышают эффективность огнетушащего действия ингибитора. При этом авторы [23] указывают, что добавление азота приводит к уменьшению в 2,5 раза огнетушащей концентрации хладона 2402 при тушении н-гептана. Так, например, разбавление смеси «природный газ + воздух» на 10% азотом снижает огнетушащую концентрацию хладона в 2 раза, а при разведении на 20%, огнетушащая концентрация хладона составляет всего 0,5-0,6%. Подобный эффект наблюдается и при использовании CO_2. Из работы [19] известно, что добавление небольшого количества CO_2 до аэрозоля, образованного из АОС на основе лактозы, значительно повышает флегматизирующую эффективность полученной газоаэрозольной смеси, которая хорошо флегматизирует гексановоздушную смесь при соотношении аэрозоля - 15 г/м^3 и 9% CO_2, что хорошо согласовывается с результатами работы [24], где CO_2 в смеси с хладоном 1301 дает низшие огнетушащие концентрации, чем азот и аргон. Причем авторы [24] на основе расчетов температуры пламени указали, что инертные газы ведут к снижению температуры пламени, а ингибирующий эффект пламени был усилен благодаря уменьшению температуры пламени, что привело к синергическому повышению эффективности пожаротушения смесью хладона-1301 и CO_2.

Таким образом, принцип объемного тушения аэрозолем с добавкой газов- флегматизаторов уместно рассматривать как комбинированное действие огнетушащих средств, которые сочетают в себе эффекты охлаждения, ингибирования и разбавления, что приводит к значительному конечному огнетушащему эффекту.

Исходя из анализа исследований огнетушащих эффектов от добавок газов- флегматизаторов к огнетушащим веществам, можно утверждать, что незначительная добавка азота к аэрозольному ингибитору приведет к существенному росту огнетушащей эффективности газоаэрозольной смеси благодаря синергизму между аэрозолем и азотом.

В общем, процесс флегматизации газоаэрозольной смесью такой: БААС, которая состоит из двух компонентов – твердой фазы огнетушащего аэрозоля – смеси неорганических солей калия – K_2O, $K_2CO_3 \bullet 2H_2O$, $KHCO_3$, KOH, KCl, KNO_2, подается в защищаемый объем вместе с газом N_2, (CO_2).

Учитывая проведенный обзор, из особенностей взаимного влияния компонентов бинарных газоаэрозольных смесей на эффективность флегматизирования горючих углеводородных сред, в замкнутых помещениях, можно утверждать о значительной актуальности использования указанных бинарных смесей. Определение эффективности и особенностей флегматизирования бинарной аэрозольно-азотной смесью является основой для создания огнетушащих и флегматизирующих систем на основе БААС. Системы могут сохранять концентрацию кислорода, нужного для жизнедеятельности человека, являются экологически чистыми и могут применятся для противопожарной защиты объектов различного назначения, где возможно возникновение взрывов и пожаров классов A, B, C и E.

3. Цель работы

Исходя из этого, можно отметить, что целью работы является теоретическое обоснование и экспериментальное определение эффективности и особенностей флегматизирования бинарными аэрозольно-азотными смесями на примере гомогенной горючей стехиометрической гептановоздушной смеси.

4. Методы исследований

Для определения флегматизирующей эффективности и особенностей предложенной бинарной аэрозольно-азотной смеси использовали следующие материалы и устройства. Аэрозольобразующая смесь (АОС), состоит из идитола ($C_{13}H_{12}O_2$) – 20 % и нитрата калия (KNO_3) – 80 %. АОС готовят предварительным перемешиванием, измельчением и прессованием соответствующих масс заряда. Азот – N_2, химически чистый. Видеофиксацию взрывного сгорания проводили фотокамерой Nikon 1 J4, которая может получать 3-х секундные видеоролики с частотой 1200 кадров в 1 секунду при разрешении 416 x 144 p [25].

Также были использованы экспериментальная установка и методика.

Основой установки (рис. 1) служит толстостенная стеклянная цилиндрическая емкость объемом 0,5 л с мощным электрическим источником зажигания, расположенным внутри цилиндра. Верхняя и нижняя части

цилиндра закрыты крышками. На нижней крышке расположены: источник зажигания 2; спиральный воспламенитель АОС 5, а в верхней крышке есть отверстие, закрытое резиновой пробкой 4. Стеклянный корпус цилиндра 1 закреплен на станине на двух вертикальных стойках 6. Крепление стеклянного цилиндра дает возможность вращать его в вертикальной плоскости. В резиновой пробке держится газовая труба, по которой подают газ.

Зажигание навески АОС проводили спиральным электрическим воспламенителем, дозировку газа проводили с помощью поршневого мерника объемом 100 мл. Эксперимент проводили следующим образом: Цилиндр подогревали до 50 ºС, капали соответствующее количество n-гептана для получения концентрации, близкой к стехиометрической, после чего в объеме цилиндра сжигали навеску АОС и вносили соответствующее дополнительное количество азота N_2, перемешивали полученную смесь и поджигали нажатием кнопки электровоспламенителя 3. Результаты испытаний регистрировали на видеоролик с такими состояниями – «взрыв», «отказ», «замедленное сгорание».

5. Результаты исследований

5.1. Процес взрыва стехиометрической гептановоздушной смеси

С целью сравнения скорости сгорания и установления первичной картины процесса взрывного сгорания гомогенной стехиометрической гептаноповоздушной горючей смеси было проведено видеофиксацию взрыва в установке «цилиндр». Результаты раскадровки представлены на рисунке 2.

Полное время взрыва составило около 100 мс. Как видно из раскадровки, взрывное горение стехиометрической гептановоздушной смеси (СГВС), можно условно разделить на 2 этапа. На 1 этапе (позиция 2.1-2.7) происходит быстрое распространение фронта пламени в цилиндре, при близкой кстехиометрической концентрации, о чем свидетельствует насыщенный голубой цвет фронта пламени (позиция 2.1-2.10) за время равное около 42 мс. При этом фронт пламени равномерно распространяется в обе стороны в позиции 2.6. Затем с верхнего отверстия под действием давления фронта ударной волны вылетает пробка – (позиция 2.7). Далее начинается 2 этап, где в процессе взрывного горения происходит догорание горючей смеси (позиция 2.8), которая осталась в нижней части цилиндра, причем распространение пламени несколько замедляется и догорание проходит почти в два раза дольше чем горение на первом этапе (рис 2. поз. 2.1-2.6).

При горении в нижней части цилиндра происходит выход нагретых продуктов горения, о чем можно судить по желто-красному цвету газов (показано стрелками на поз. 2.11)., где появляется желтая зона газов к поз. 2.15 – где желтая зона выбрасывается наружу через верхнее отверстие (показано стрелкой поз. 2.15). В конечном результате (позиции 2.16-2.19) пламя распространяется на нижнюю часть цилиндра, что приводит к конечному выгоранию смеси в объеме цилиндра. Разделение зоны горения и продуктов горения показано стрелками (позиции 2.11-2.19). Далее идет процесс затухания, что сопровождается остыванием продуктов горения в цилиндре (рис. 2. поз. 2.20-2.24). Соответственно полное сгорание гептановоздушной смеси с остыванием продуктов горения и остывание их остатка в цилиндре в целом происходит за время примерно равное 100 мс.

5.2. Процесс взрыва СГВС с добавкой N_2

Из проведенного анализа известно, что добавки азота уменьшают скорость горения смеси и поэтому, с целью определения характера влияния добавок азота на горючую смесь провели эксперимент с добавкой 10% азота к СГВС.

Результаты протекания взрыва СГВС с добавкой 10% N_2 показаны в раскадровке процесса на рисунке 3.

Как видно из раскадровки, добавка к горючей смеси всего 10% N_2 уже значительно снижает скорость распространения пламени, что можно определить по увеличению времени взрывного горения, которое возросло до 220 мс. Причем во время взрывного сгорания во всех случаях (6 попыток) присутствовали характерные этапы, показаны и указаны стрелками на примере на раскадровке на рисунке 3. Первый этап, который показан на рис. 3, поз. 3.1.-3.4 включал в себя распространение сферы фронта горения, причем цвет пламени изменился

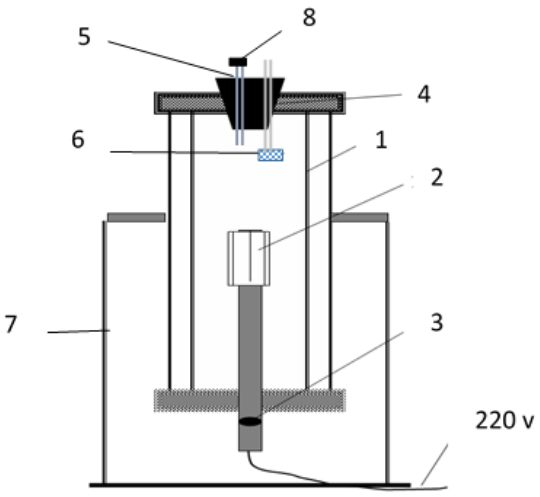


Рис. 1. Прибор для определения концентрации флегматизирующей смеси газов и аэрозолей. 1. Стеклянной корпус цилиндра. 2. Электрический воспламенитель. 3. Кнопка электрического поджига. 4. Резиновая пробка. 5. Газовая труба. 6. Спираль воспламенителя. 7. Вертикальные стойки. 8. Заглушка
Fig. 1. Device for determining the concentration of phlegmatizing mixture of gas and aerosol. 1. Glass body of the cylinder. 2. Electric igniter. 3. Electric igniter button. 4. Rubber cork. 5. Gas pipe. 6 Spiral igniter. 7. Vertical bar. 8. Plug.
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.11

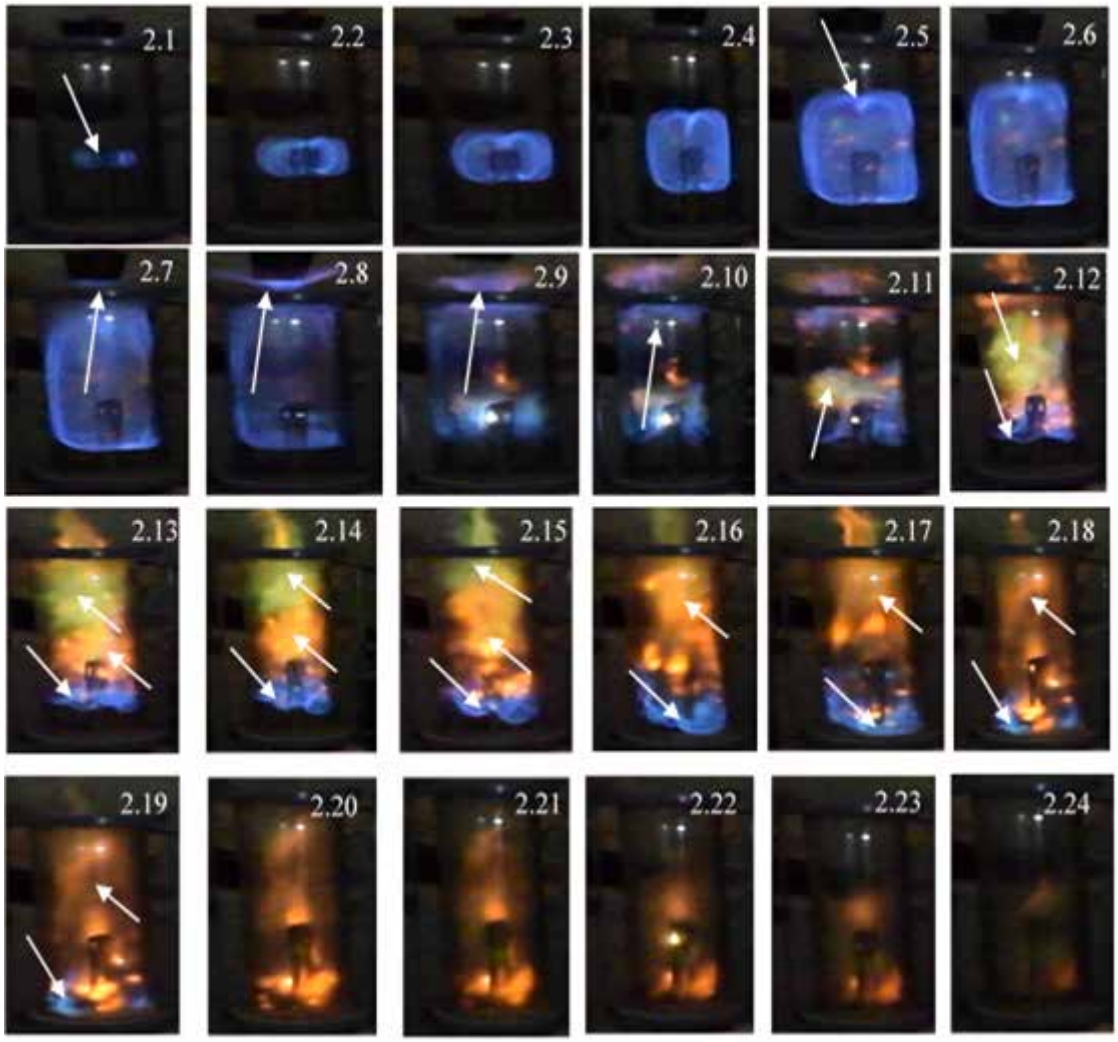


Рис. 2. Раскадровка взрыва СГВС. Время взрыва $\tau_в \approx 100$ мс
Fig. 2. A storyboard of the explosion of stoichiometric gas-air mixture. Time of explosion ≈ 100 ms
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

с красного (рис 3. поз. 3.1-3.6) на бирюзовый (рис. 3, поз. 3.9-3.11). Время 1 этапа в течение которого происходило распространение пламени наружу к выбросу из верхнего отверстия пробки составляло около 125 мс (рис. 3, поз 3.1-3.6). После чего фронт горения изменил цвет на красный (рис. 3. поз. 3.2-3.3) увеличивался и длился около 50 мс (рис. 3, поз. 3.4-3.7) и достигнув верхней стенки пламени резко выталкивал пробку наружу (рис. 3, поз. 3.8-3.12) за время около 25 мс, после контакта со стенкой. После выталкивания пробки, во втором этапе, цвет пламени резко менялся на красный, причем в верхней части цилиндра, там где смесь контактировала с воздухом цвет пламени приобретал голубой окрас (показано стрелками на рис. 3.10-3.12), что свидетельствует о большей полноте сгорания смеси. После выхода фронта пламени наружу, цвет нагретых газов также резко приобретал красную окраску. Газы не меняли цвета внутри цилиндра к полному затуханию и остывания (рис. 3, поз. 3.12-3.16). Исходя из результата эксперимента, добавка всего 10% N_2 привела к уменьшению скорости горения гептановоздушной смеси до 2-х раз. При дальнейшем увеличении концентрации азота было определено, что минимальная флегматизирующая концентрация азота для СГВС в условиях цилиндра составляет 43%.

5.3. Процесс взрыва СГВС при концентрации аэрозоля – 60 г/м³

В следующей серии испытаний было определено что флегматизирующая концентрация, самого аэрозоля, составляет 66 г/м³. Раскадровка процесса горения при добавлении к гептановоздушной смеси указанного аэрозоля при концентрации несколько ниже флегматизирующей, а именно при 60 г/м³, показана на рисунке 5.

В процессе сгорания СГВС, при наличии аэрозоля, четко наблюдался эффект замедления распространения пламени. Даже при концентрациях гептана, близких к стехиометрических, при добавке аэрозоля 45-60 г/м³, наблюдалось частичное распространение пламени по объему СГВС. Время сгорания увеличилось в 7 раз по сравнению с горением чистой стехиометрической гептановоздушной смеси. Как видно на рис. 4 (поз. 4.1-4.5), распространения пламени, происходило только вверх, в виде круглой сферы от источника зажигания без распространения по всей смеси. Нижний край фронта пламени оставался приблизительно на уровне начального горения. При этом во всех случаях пламя имело красный цвет, что свидетельствует о невысокой скорости сгорания, и подтверждается большим временем сгорания СГВС.

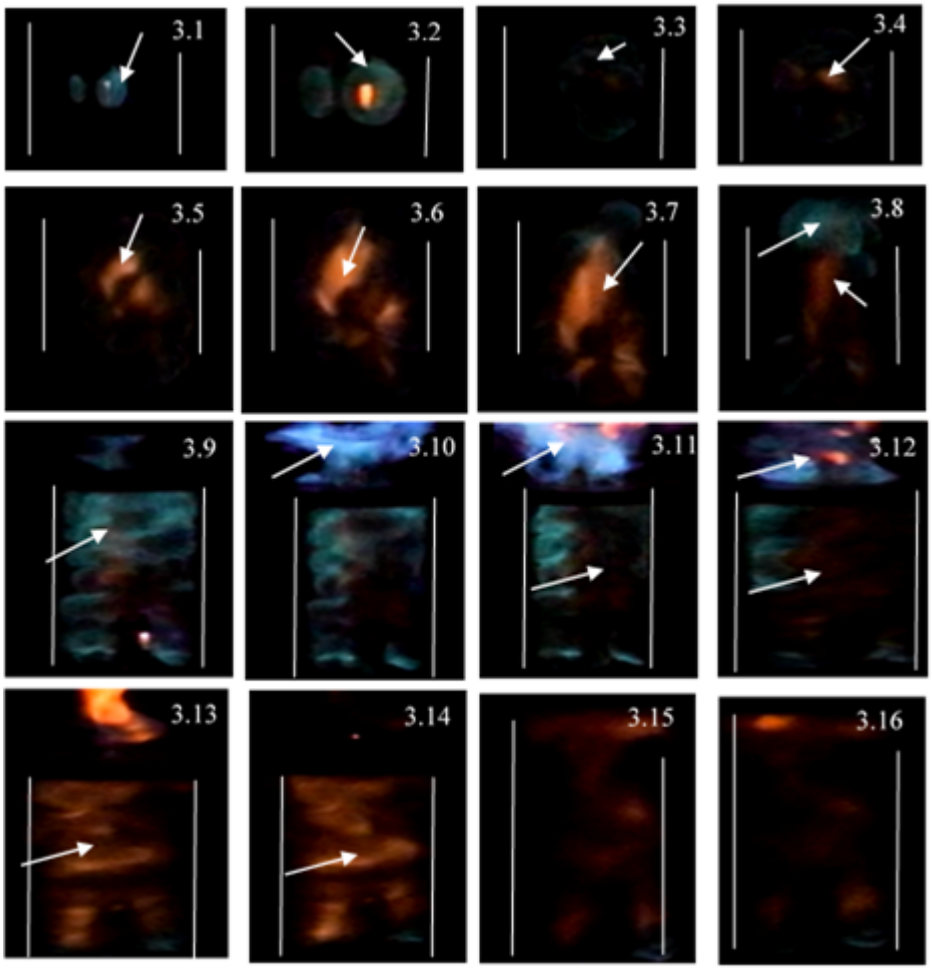


Рис. 3. Раскадровка взрывного горения СГВС с добавкой %10 азота. Время взрыва τв ≈ 210 мс
Fig. 3. A view of the explosive combustion of stoichiometric gas-air mixture with additive of 10 % nitrogen. Time of explosion ≈ 210 ms
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

5.4. Изменение флегматизирующей концентрации для СГВС в зависимости от соотношения аэрозоля и азота в БААС

Для подтверждения выдвинутой мысли о том, что совместное действие аэрозоля с добавками азота приведет к значительному повышению флегматизирующей эффективности бинарной смеси, была проведена серия экспериментов и получены соответствующие зависимости, показанные на рисунке 5. График зависимости флегматизирующей концентрации был построен с условием того, что флегматизирующая концентрация для аэрозоля составляла 66 г/м^3, а для азота – до 43%.

На рисунке 5 приведен график зависимости изменения флегматизирующей концентрации для СГВС от соотношения содержания огнетушащего аэрозоля, и азота при совместной их подачи в испытательную камеру. Как видно из графика, экспериментальные значения компонентов БААС, расположены ниже значений,

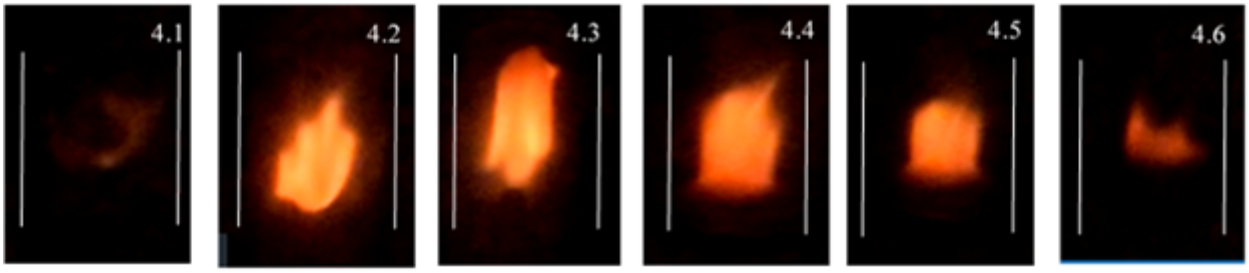


Рис. 4. Раскадровка взрыва СГВС при концентрации аэрозоля – 60 г/м^3. Время взрыва $\tau_в \approx$ 575 мс
Fig. 4. A storyboard of a stoichiometric gas-air mixture explosion at aerosol concentration – 60 g/m^3. Time of explosion ≈ 575 ms
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.11

которые бы соответствовали точкам на пунктирной прямой в случае аддитивности, тоесть зафиксирован эффект синергизма между указанными компонентами бинарной аэрозольно-азотной смеси.

5.5. Зависимость флегматизирующей эффективности бинарной аэрозольно-азотной смеси (БААС) для СГВС от изменения концентрации N_2 при постоянной концентрации аэрозоля в 20 г/м³

Для выявления особенностей, зависимостей и эффективности флегматизации, при изменении всего лишь концентрации азота в бинарной газоаэрозольной смеси было проведено исследование при увеличении концентрации азота от 2% до 15% при постоянной концентрации аэрозоля в 20 г/м³.

Результаты исследований показали, что при добавлении азота в диапазоне от 2% до 6% происходит распространение пламени на весь объем цилиндра. Дальнейшее увеличение концентрации азота в БААС приводит к ограничению распространения пламени на весь объем цилиндра, при этом значительно увеличивается время зажигания горючей смеси. При увеличении концентрации азота до 10%, распространение пламени происходит лишь на верхнюю часть цилиндра. При концентрации N_2 от 12% до 14%, пламя вообще распространяется лишь в пределах сферы от первичного зажигания, которая самозатухает. Давление при этом слишком низкое даже для выталкивания пробки из отверстия цилиндра. Результаты и характеристики процессов взрывного сгорания таких смесей число с добавлением БААС приведены в таблице 2.

5.6. Взрыв СГВС в результате добавки БААС при соотношении аэрозоля – 15 г/м³, азота – 10%

С целью определения влияния изменения концентрации аэрозоля на флегматизирующую эффективность БААС было исследовано флегматизирующую эффективность БААС с таким соотношением ее компонентов: аэрозоль – 15 г/м³ и N_2 – 10%.

Результаты эксперимента (рис. 6.) показали, что при уменьшении концентрации аэрозоля до 15 г/м³ пламя будет распространяться на весь объем цилиндра, но время взрывного горения СГВС так и остается – около 600 мс. На рис. 6 представлена раскадровка взрывного горения на которой стрелками показано, что на первом этапе происходит медленное распространение фронта пламени (поз. 6.1.-6.6). После контакта фронта со стенкой цилиндра происходит резкое ускорение реакции (поз. 6.7.-6.19) с образованием турбулентного фронта пламени, который приводит к резкому увеличению скорости реакции и выталкиванию пробки (поз. 6.9.) после чего реакция резко ускоряется (поз. 6.10-6.12.), и заканчивается тем, что пламя меняет цвет на красный и затухает (поз. 6.13-6.15.)

5.7. Сравнение времени взрывного сгорания СГВС при флегматизировании добавками азота, аэрозоля и БААС

Для сравнения времени прохождения процессов взрывного горения СГВС, при добавлении азота, аэрозоля, и БААС была построена соответствующая блок-схема (рис. 7), на которой визуализированы во времени процессы протекания взрывного горения в указанных условиях.

При добавлении к СГВС 10% N_2, время взрывного горения увеличивается в два раза – до 210 мс, как было сказано, по сравнению с горением СГВС без флегматизирующей добавки, (поз. 7.2.). Как видно из рис. 7.2, когда горение СГВС уже закончилось на 100 мс, при добавлении N_2, на 125 мс, только происходит распространение сферы пламени (рис. 7.2), после чего пламя за короткое время распространяется по всему объему смеси за 135-150 мс и прекращает гореть на 210 мс. Добавка аэрозоля к СГВС в количестве 60 г/м³ значительно уменьшает скорость, и пламя теряет четкие очертания первичной сферы горения и медленно распространяется по СГВС сначала с увеличением времени (рис. 7.3.) 125-500 мс, а затем с уменьшением на 500-525 мс. Причем пламя не достигает даже стенок цилиндра и затухает на 575 мс. При уменьшении концентрации аэрозоля с 60 г/м³ до 15 г/м³ происходит тоже распространение пламени, но при этом пламя так же, как и в предыдущем случае, увеличивается в размере до 374 мс, после чего происходит резкая активизация горения и вылетает под давлением пробка из цилиндра. Далее пламя активно распространяется на весь объем смеси и после 423 мс начинает уменьшаться в размерах и затухает. Причем догорания и остывания

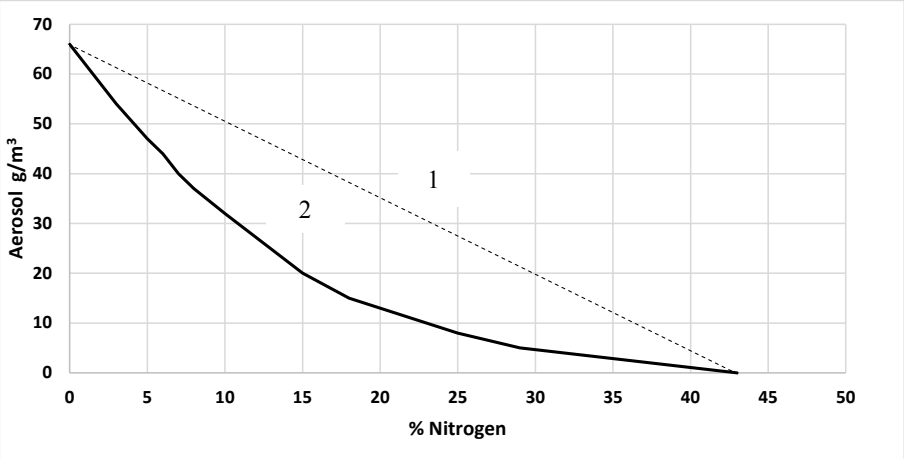


Рис. 5. График изменения флегматизирующей концентрации для СГПС, в зависимости от соотношения аэрозоля и азота:
1 – прямая зависимости (теоретическая) в случае аддитивности; 2 – кривая зависимости по экспериментальным данным
Fig. 5. Schedule of change of phlegmatizing concentration for stoichiometric gas-air mixture, depending on the ratio of aerosol and nitrogen:
1 – Direct line of dependence (theoretical) in case of additivity; 2 – Curve of dependence according to the experimental data
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

Таблица 2. Зависимость флегматизирующей эффективности бинарной аэрозольно-азотной смеси (БААС) и характера взрывного горения СГВС от изменения концентрации N_2 при постоянной концентрации аэрозоля в 20 г/м^3
Table 2. Influence of the phlegmatizing efficiency of the binary aerosol-nitrogen mixture and the nature of explosive combustion of stoichiometric gas-air mixture on the changes in the concentration of N_2 at constant aerosol concentration of 20 g/m^3

№ / No.	N_2, %	**Результат / Result**
1	4	Возгорание после действия источника зажигания 1 с. Медленное распространение пламени. Незначительное увеличение давления. Распространение пламени на весь объем паровоздушной смеси. Ignition initiated by the source of ignition starts within 1 second. Slow spread of the flame. A slight increase of pressure. The spread of the flame within the whole volume of vapour–air mixture.
2	6	Возгорание после действия источника зажигания 2 с. Медленное распространение пламени. Незначительное увеличение давления. Распространение пламени на весь объем паровоздушной смеси. Ignition initiated by the source of ignition starts within 2 seconds. Slow spread of the flame. A slight increase of pressure. The spread of the flame within the whole volume of vapour–air mixture.
3	8	Возгорание после действия источника зажигания 2 с. Медленное распространение пламени. Незначительное увеличение давления. Ограниченное распространение пламени на 80 % объема. Ignition initiated by the source of ignition starts within 2 seconds. Slow spread of the flame. A slight increase of pressure. Flame spread over 80% of the volume.
4	10	Возгорание после действия источника зажигания 3 с. Медленное распространение пламени. Незначительное увеличение давления. Ограниченное распространение пламени на 50% объема. Ignition initiated by the source of ignition starts within 3 seconds. Slow spread of the flame. A slight increase of pressure. Flame spread over 50% of the volume.
5	12	Возгорание после действия источника зажигания 3с. Медленное распространение пламени. Незначительное увеличение давления. Ограниченное распространение пламени в пределах первичной сферы. Ignition initiated by the source of ignition starts within 3 seconds. Slow spread of the flame. A slight increase of pressure. Flame spread throughout the primal sphere.
6	15	Флегматизация / Phlegmatization.

Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

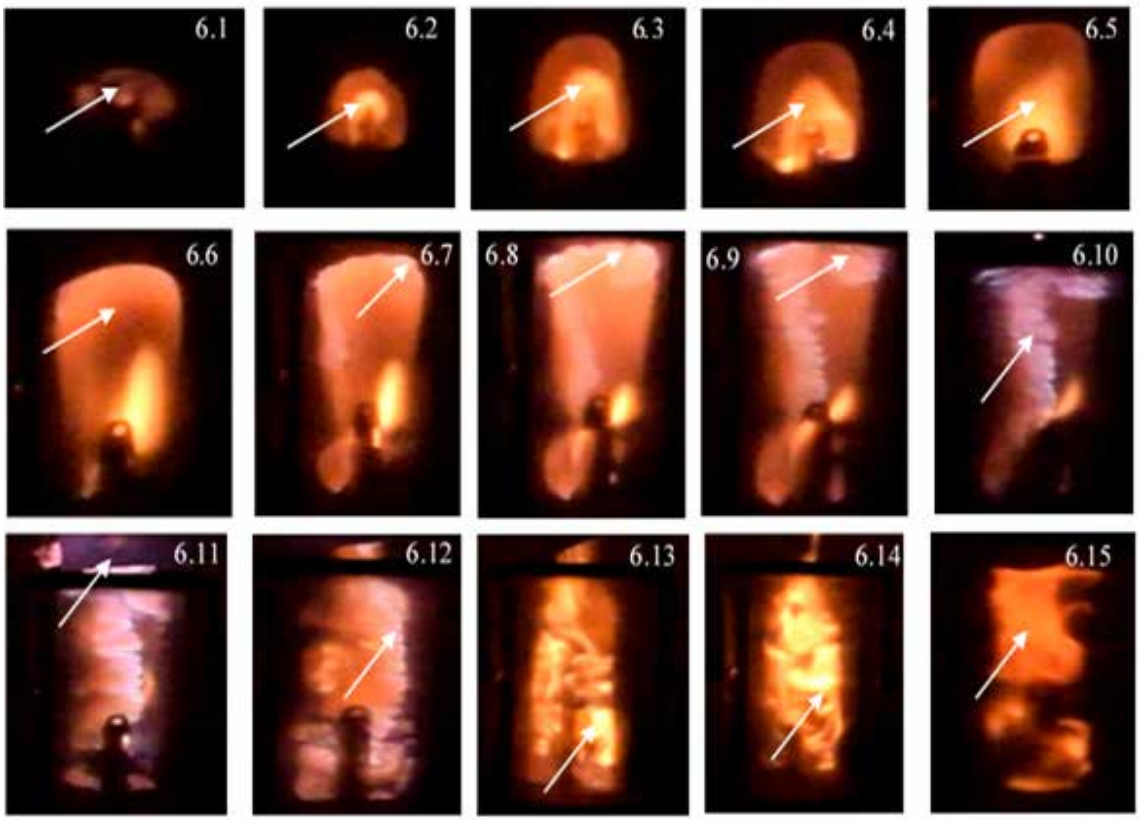


Рис. 6. Раскадровка взрыва СГВС в результате добавления БААС при соотношении: аэрозоля –15 г/м^3, азота – 10%. Время взрыва ≈ 623 мс
Fig. 6. A view of the explosion of the stoichiometric gas-air mixture when the binary aerosol-nitrogen mixture is added; at the ratio: aerosol – 15 g/m^3, nitrogen – 10%. Time of explosion ≈ 623 ms
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.11

смеси происходит в течение 200 мс, с 423 мс до 623 мс. Соответственно время уменьшения и прекращения горения как в случае с добавкой аэрозоля, так и при добавке БААС (рис. 7.4) есть почти одинаково, но концентрация аэрозоля при этом в 4 раза меньше. При увеличении концентрации аэрозоля до 20 г/м^3 и N_2 – 12,5% (рис. 7.5) пламя едва распространяется, при этом теряет очертания первичной сферы и хаотично приобретает максимальный в этом случае размер на 250 мс, после чего начинает незначительно уменьшаться в размерах после 250 мс до 575 мс, а на 625 мс происходит окончательное догорание и остывание. Таким образом флегматизирующее действие на СГВС, БААС с соотношением аэрозоля 20 г/м^3 и 12,5% – N_2, является самым эффективным учитывая полученные результаты – наименьшая скорость сгорания СГВС и небольшие размеры первичной сферы. Аэрозоль при указанной концентрации, опираясь на исследования авторов по токсичности аэрозоля и его влиянию на живые организмы [26-27], представляет опасность при огнетушащих концентрациях 40-50 г/м^3. При этом аэрозоли, полученные из генераторов аэрозоля без блоков-охладителей, обеспечивали 100% выживаемость белых крыс, а аэрозоли, полученные с блоками-охладителями, были значительно более токсичны, но и при этом смертность белых крыс составляла от 10-50%. Концентрация кислорода при добавлении в воздух БААС с соотношением компонентов 15% N_2 и 20 г/м^3 аэрозоля, составит более 16%, что будет соответствовать условиям жизнедеятельности человека [27-28].

6. Вывод

Результаты экспериментов показали, что значение флегматизирующей концентрации аэрозоля, полученного из АОС на основе идитола, для стехиометрической гептановоздушной смеси составляет 66 г/м^3. Также получена зависимость флегматизирующей концентрации БААС от соотношения компонентов в ней, в диапазоне концентраций: для аэрозоля до 66 г/м^3 и азота до 44%. Установлено, что оптимальные соотношения компонентов указанной смеси лежат в таких пределах: аэрозоль – 20-35 г/м^3, N_2 – 15-8%.

В результате проведенных экспериментов подтверждено также синергическое действие между компонентами бинарной аэрозольно-азотной смеси, что проявляется в резком снижении концентрации ее компонентов благодаря комбинированному действию компонентов бинарной аэрозольно-азотной смеси, которые действуют одновременно как тепловые флегматизаторы и химические ингибиторы. Получены раскадровки процессов взрывного сгорания при добавлении к стехиометрической смеси бинарных аэрозольно-азотних смесей, которые подтверждают значительный огнеподавляющий эффект при снижении концентрации аэрозоля и концентрации азота до 3 раз, что обеспечивает концентрацию кислорода, необходимую для жизнедеятельности человека. Определено, что в указанном диапазоне время горения смеси возрастает почти в 6 раз с одновременным резким уменьшением давления и значительным ограни-

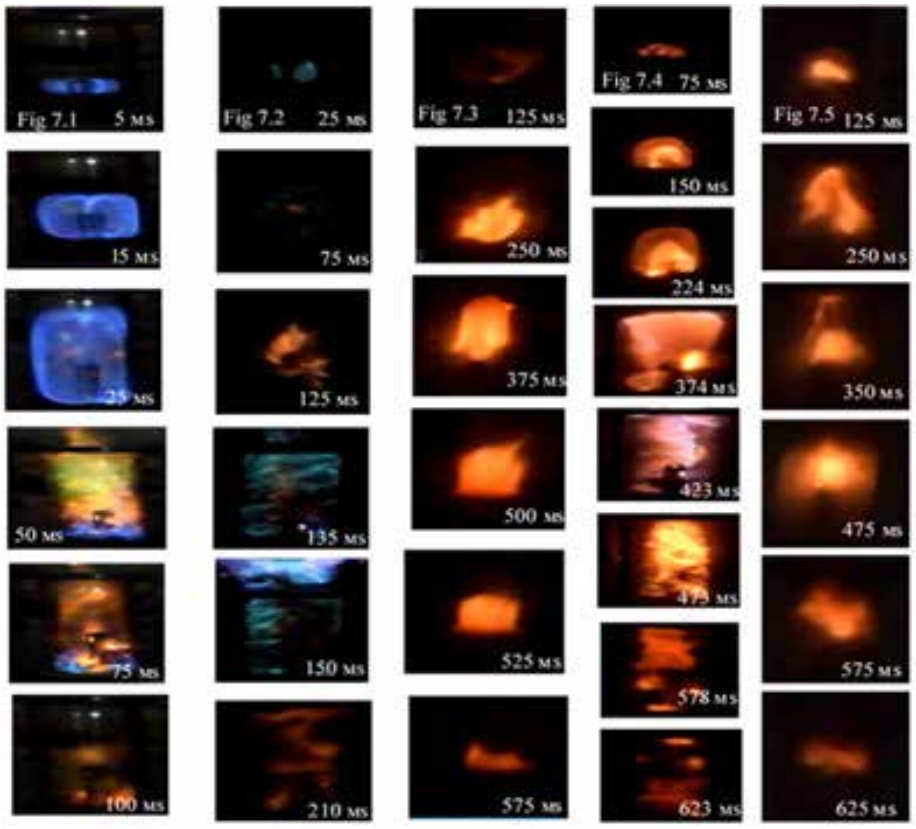


Рис. 7. Визуализация процессов взрывного сгорания СГВС: 7.1 Взрывное горение стехиометрической гептановоздушной среды. 7.2. Добавка 10 % N_2. 7.3. Добавка аэрозоля 60 г/м^3. 7.4. Добавка БААС с соотношением аэрозоля –15 г/м^3, N_2 –10%. 7.5. Добавка БААС с соотношением аэрозоля – 20 г/м^3, N_2 – 12,5%

Fig. 7. A view of the explosive combustion processes of the stoichiometric gas-air mixture: 7.1 Explosive stoichiometric combustion of heptane and air mixture. 7.2. Additive of 10% N_2. 7.3. Additive of aerosol 60 g/m^3. 7.4. Additive of BAMM in ratio of aerosol – 15 g/m^3, N_2 – 10%. 7.5. Additive of the binary aerosol-nitrogen mixture in ratio of aerosol – 20 g/m^3, N_2 – 12,5%

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

чением объема распространения пламени по горючей смеси, что должно значительно уменьшить объемы разрушений в таких средах при условии, что взрыв все-таки состоялся.

Исходя из результатов работы, можно отметить, что аэрозоль и бинарные аэрозольно-азотные смеси являются эффективными флегматизаторами горючих газопаровоздушных систем, и могут быть альтернативой для использования в системах и устройствах пожаротушения, которые можно использовать на нефтяных танкерах, резервуарах для хранения нефти и нефтепродуктов, железнодорожных цистернах для горючих жидкостей, кабельных туннелях, складах с легковоспламеняющимися жидкостями, складах с боеприпасами, моторных отсеках боевых машин, самолетах, труднодоступных объемах на объектах энергетической, химической промышленности, а также на объектах с возможным временным пребыванием людей в условно герметичных объемах – трюмах кораблей, подводных лодках, гаражах и других объектах с пребыванием людей при сохранении жизнепригодной среды.

Литература

[1] 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, [electr. doc.] http://ozone.unep.org/en/information-material, [accessed: 10.11.2016].

[2] Linteris G.T., *Clean Agent Suppression of Energizer Equipment Fires*, National Institute of Standards and Technology, January 2009.

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

[4] Tsapko O.Yu., Tsapko Yu.V., Balanyuk V.M., *Determination of fire extinguishing and inerting ability of ozone safe gaseous fire extinguishing substances,* "Fire safety" 2011, 19, 156-162.

[5] Inergen-extinguishing systems. Tyco, http://www.tycofis.co.uk/products/Gaseous-Fire-Suppression/inergen-overview, [accessed: 10.11.2016].

[6] Agafonov V.V., Kopylov N.P., "*Aerosol Extinguishing System: Elements and Characteristics*, [in:] *Design, Erection and Operation*, VNIIPO, Moscow 1997, 232.

[7] Silin N.A., Emel'janov V.N., *Pyrotechnic Aerosol Generating Compositions and Fire Suppressing Systems,* [in:] *Conversion Concepts for Commercial Applications and Disposal Technologies of Energetic Systems*. Volume 14 of the series NATO ASI Series, 121-129.

[8] Agafonov V.V., Kopylov N.P., *Design, assemblage and usage of aerosol installations for fire protection,* VNIIPO, Moscow 1999, (in Russian).

[9] Agafonov V.V., Kopylov S.N., Sychev A.V., Uglov V.F., Zhyganov D.B., *The mechanism of fire suppression by condensed aerosols,* Halon Options Technical Working Conference, 15th Proceedings, HOTWC 2005, 1-10.

[10] C.T. Ewing, Faith F.R., Romans J.B., Hughes J.T., Hower W.C., *Flame extinguishment properties of dry chemicals: extinction weights for small diffusion pan fires and additional evidence for flame extinguishment by thermal mechanisms*, "J. Of Fire Prot. Engr." 1992, 4(2), 35-52, doi: 10.1177/104239159200400201.

[11] Fischer G., Leonard J.T., *The Effectiveness of Fire Extinguishing Powders Based on Small Scale Fire Suppressant Tests,* Naval Research Laboratory, NRVMW6180-95-7778, Washington DC 1995.

[12] Shorin S.N., Balin, V.A. *The effect of inert dust to the normal speed of propagation of flame in combustible gas mixtures, theory of combustion*, proceedings of the all-Moscow seminar on the theory of combustion: collection of scientific papers, Science, Moscow 1970, 93-100.

[13] Gogol L.A., Kononenko K.M., et. al., *The inhibition of propane combustion aerosols of metal salts. Inhibition of chain gas reactions*, [in:] *Proceedings of the workshop on the mechanism of inhibition of chain gas reactions*, Alma-ATA 1971, 205-213.

[14] Dewitte M. Vrebosh J. Van Tiggelen A., I*nhibittion and Extinotion of Premixed Flames by Dust Particles*, "Combustion and Flame" 1984, 8(4), 257-266, doi: 10.1016/0010-2180(64)90079-3.

[15] Fleming J.W., Reed M.D., et. al., *Extinction studies of propane/air counterfzow diffusion flames*: *the effectiveness of aerosols*, Halon Oplions Technical Wolking Conference 12-14 May 1998.

[16] Mc Hale E.T., *Flame Inhibition by Potassium Compounds*, "Combust and Flame" 1975, 24(2), 277-279, doi: 10.1016/0010-2180(75)90159-5.

[17] Mitani T., Niioka T., *Comparison of Experiment and Theory on Heterogeneous Flame Suppresants*, "Nineteenth Symposium on Combustion: The Comb. Inst." 1982, 19(1), 869-875, doi: 10.1016/S0082-0784(82)80262-2.

[18] Fleming J.W., Williams B.A., Sheinson R.S., *Suppression effectiveness of aerosols: the effect of size and flame type*, NIST Special Publications, 2002.

[19] Balanyuk V.M., Zhurbinskiy D.A., *Phlegmatisation of flammable gas mixtures by aerosol sprays*, BiTP Vol. 32 Issue 4, 2013, pp. 53-58, doi:10.12845/bitp.32.4.2013.6.

[20] Christian S.D., Kerr P., Tucker E.E., Sliepcevich C.M., Hagen A.P., *Synergism in flame extinguishment: New results for mixtures of physical and chemical agents*, Halon Options Technical Working Conference 6-8 May 1997, pp. 88-105.

[21] Lott J.L., Christian S.D., Sliepcevich C.M., Tucker E.E., *Synergism Between Chemical and Physical Fire–Suppressant Agents*, "Fire Technology" 1996, 323, 260-271, doi: 10.1007/BF01040218.

[22] Zhartovs'kyy V.M., Otkidach M.Ya., Tsapko Yu.V., Tropinov O.H., *Studies to determine the fire extinguishing effectiveness of mixtures of retardants and inert diluent*s, "Naukoviy Visnik UkrNDIPB" 2003, 2(8), 5-10.

[23] Yongfeng Z., Xiang J., Guangxuan L., Ni X., *Experimental study of the fire–extinguishing effectiveness of 1–bromo–3,3,3–trifluoropropene/nitrogen mixtures*, "Journal of fire sciences" 2007, 25, 177-187, doi: 10.1177/0734904107067914.

[24] 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, doi:10.3801/IAFSS.FSS.5-901.

[25] Nikon 1J4, http://imaging.nikon.com/lineup/acil/bodies/j4/spec.htm Nikon 1 J4, [accessed: 10.11.2016].

[26] Smith F.A., Kimmel E.C., English J.H., Carpenter R.L., *The assessment of toxicity after exposure to a pyrotechnically-generated aerosole*, HOTWC, 95.

[27] Kopylov N.P., Ilitchkine V.S., Potanine B.V., Novikov I.A., *Toxic hazard associated with fire extinguishing aerosols: the current state of the art and a method for assessment*, Halon Options Technical Working Conference, 24-26 April 2001.

* * *

Баланюк Владимир Мирчевич – докторант, кандидат технических наук, доцент. В 2007 году защитил диссертацию по специальности пожарная безопасность. С 2007 года работает на кафедре процессов горения и 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. 44 Issue 4, 2016, pp. 151–158

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.12

mgr **Barbara Piotrowska**[1]
mgr inż. **Marian Fujak**[1]
mgr inż. **Krzysztof Isajenko**[1]
mgr **Sylwia Krawczyńska**[2]

Przyjęty/Accepted/Принята: 04.10.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 10.12.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Building Materials Radioactivity in Poland[3]

Radioaktywność materiałów budowlanych w Polsce

Радиоактивность строительных материалов в Польше

ABSTRACT

Introduction: The systematic research of the natural radioactivity of raw and building materials has been conducted in Poland since 1980. Basing on the results of these studies, carried out by both the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) and over 30 other research laboratories in our country, the national database of natural radioactivity measurements has been set up. The database is supervised by the CLOR and contains the results of the measurements for more than 42 000 samples analysed since 1980 up till now. Due to the economic development of the country, since 1990 there has been an increase in the number of the natural radioactivity measurements of raw and building materials.
Objective: The aim of this article is the presentation and evaluation selected of raw and building materials in terms of radiology.
Method: In Poland the possibility of using different raw and ready building materials is classified due to the value of activity coefficients f_1 and f_2. Activity coefficient f_1 specifies the content of natural isotopes in a test material and is the coefficient of the gamma radiation exposure to the whole body. Activity coefficient f_2 specifies the content of radium ^{226}Ra (mother of isotope ^{222}Rn) in the test material and is the coefficient of the exposure of the lungs epithelium to the alpha radiation emitted by the decay products of radon, breathed into with air by the human respiratory system. Activity coefficients are described by the natural radioactivity of potassium ^{40}K, radium ^{226}Ra and thorium ^{228}Th. Activity concentration of these radionuclides is determined by the MAZAR analyser with a scintillation detector. It is a three-window analyser, which measures samples in the range from 1.26 MeV to 2.85 MeV.
Results: This paper shows the values of activity coefficients f_1 and f_2 for a few selected raw and building materials like ash, concrete, cement and ceramics. Additionally, activity coefficients f_1 and f_2 for carbon are discussed. Carbon, as a precursor to a few building raws, (ash, slag, mixture of ash and slag) has been measured in significant amounts since 1996. Average value of its activity coefficient f_1 was between 0.15 and 0.43 while an average index f_2 was from 14.7 Bq/kg to 44.2 Bq/kg for results collected in 1980-2012. Average values of activity coefficients f_1 and f_2 for carbon are the lowest of all measured and compared materials described in this paper. Average value of activity coefficient f_1 of ash as a by-product of coal combustion is a few times higher than for carbon and is higher than the limit value equals 1.0 for results from almost all years.
Conclusions: In the paper, average value and range of dose rate for these several raw and building materials have been shown. An average dose rate is between 31.8 nGy/h for carbon up to 140.8 nGy/h for ash.

Keywords: building materials, natural radioactivity, ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th
Type of article: original scientific article

ABSTRAKT

Wprowadzenie: Od 1980 roku w Polsce prowadzone są systematyczne badania naturalnej promieniotwórczości surowców i materiałów budowlanych. W oparciu o wyniki badań m.in. Centralnego Laboratorium Ochrony Radiologicznej (CLOR) oraz ponad 30 innych laboratoriów badawczych w naszym kraju powstała ogólnopolska baza pomiarów promieniotwórczości naturalnej. Baza ta jest nadzorowana przez CLOR i zawiera wyniki pomiarów dla ponad 42 000 zbadanych próbek od 1980 roku do chwili obecnej. W związku z rozwojem gospodarczym kraju, od 1990 roku nastąpił wzrost liczby pomiarów naturalnej radioaktywności surowców i materiałów budowlanych.
Cel: Celem artykułu jest przedstawienie i ocena wybranych surowców i materiałów budowlanych pod względem radiologicznym.
Metoda: W Polsce możliwość wykorzystania różnych surowców i gotowych materiałów budowlanych uzależniona jest od wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2. Wskaźnik aktywności f_1 określa zawartość naturalnych izotopów w badanym materiale i jest współczynnikiem narażenia całego ciała na promieniowanie gamma. Wskaźnik aktywności f_2 określa zawartość radu ^{226}Ra w badanym materiale i jest wskaźnikiem narażenia nabłonka płuc na promieniowanie alfa emitowane przez produkty rozpadu radonu, pobrane wraz z powietrzem przez układ oddechowy człowieka. Wskaźniki aktywności opisane są przez promieniotwórczość naturalną potasu ^{40}K, radu ^{226}Ra i toru ^{228}Th. Stężenie aktywności tych

[1] Central Laboratory for Radiological Protection, Department of Dosimetry, Poland; isajenko@clor.waw.pl;
[2] Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP-PIB), Poland;
[3] Percentage contribution: B. Piotrowska – 35%, K. Isajenko – 25%, M. Fujak – 20%, S. Krawczyńska – 20%;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.12

radionuklidów jest określana za pomocą analizatora MAZAR z detektorem scyntylacyjnym. Analizator jest trzyzakresowy. Mierzy próbki w zakresach 1,26 do 1,65 MeV, od 1,65 do 2,30 MeV i od 2,30 do 2,85 MeV.
Wyniki: W artykule przedstawiono wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2 dla kilku wybranych surowców i materiałów budowlanych, takich jak popiół, beton, cement i ceramika. Dodatkowo omówiono wskaźniki aktywności f_1 i f_2 dla węgla. Węgiel jako prekursor kilku surowców budowlanych (popiół, żużel, mieszanina popiołowo-żużlowa) mierzono w znaczących ilościach od 1996 roku. Średnia wartość jego wskaźnika aktywności f_1 wynosiła od 0,15 do 0,43, podczas gdy średni wskaźnik f_2 od 14,7 Bq/kg do 44,2 Bq/kg dla wyników zebranych w latach 1980-2012. Średnie wartości wskaźników aktywności f_1 i f_2 węgla są najniższe spośród wszystkich zmierzonych i porównanych materiałów opisanych w niniejszym artykule. Średnia wartość wskaźnika aktywności f_1 popiołu, jako produktu ubocznego spalania węgla, jest kilka razy wyższa niż w przypadku węgla i jest wyższa od wartości granicznej równej 1,0 w wynikach z prawie wszystkich lat.
Wnioski: W artykule przedstawiono wartość średnią i zakres mocy dawki dla tych kilku wybranych surowców i materiałów budowlanych. Średnia moc dawki wynosi od 31,8 nGy/h w przypadku węgla do 140,8 nGy/h w przypadku popiołu.

Słowa kluczowe: materiały budowlane, promieniotwórczość naturalna, ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

АННОТАЦИЯ

Введение: С 1980 года в Польше проводятся систематические исследования естественной радиоактивности сырья и строительных материалов. На основании результатов этих исследований, проводимых как Центральной лабораторией радиологической защиты (CLOR), так и более 30 другими научно-исследовательскими лабораториями в нашей стране была создана общенациональная база данных измерений естественной радиоактивности. Эта база данных находится под контролем CLOR и содержит результаты измерений более 42 000 образцов, проанализированных с 1980 по настоящее время.
В связи с экономическим развитием страны с 1990 года наблюдается увеличение числа измерений естественной радиоактивности сырья и строительных материалов.
Цель: Цель данной статьи состоит в представлении и оценке выбранного сырья и строительных материалов с точки зрения их радиологических свойств.
Метод: В Польше использование различных сырьевых материалов и готовых строительных материалов классифицируется относительно значений показателей активности f_1 и f_2. Показатель активности f_1 определяет содержание природных изотопов в исследуемом материале и является фактором опасного воздействия гамма-излучения на целое тело). Показатель активности f_2 определяет содержание радия ^{226}Ra в исследуемом материале и является показателем опасного воздействия на альвеолы легких, вызванного альфа-излучением, эмитированного продуктами распада радия, которые поступают вместе с воздухом в дыхательную систему человека. Показатели активности описываются естественной радиоактивностью калия ^{40}K, радия ^{226}Ra и тория ^{228}Th. Концентрация активности этих радионуклидов определяется при помощи анализатора MAZAR со сцинтилляционным детектором. Анализатор работает в трех диапазонах и измеряет образцы для значений от 1,26 до 1,65 MeV, от 1,65 до 2,30 MeV и от 2,30 до 2,85 MeV.
Результаты: В статье представлены показатели активности f_1 и f_2 для выбранного сырья и строительных материалов, таких как зола, бетон, цемент и керамика. Кроме того, в статье обсуждались показатели активности f_1 и f_2 угля. Уголь, который являлся предшественником некоторых строительных материалов (золы, шлака, смеси золы и шлака), измеряли достаточно часто начиная с 1996 года. Среднее значение показателя активности f_1 колебалось от 0,15 до 0,43, в то время, как средний показатель f_2 составял 14,7 Бк/кг до 44,2 Бк/кг для результатов, полученных в 1980-2012 годах. Средние значения показателей активности f_1 и f_2 угля являются самыми низкими из всех измеренных и сравниваемых материалов, описанных в этой статье. Среднее значение активности f_1 золы в качестве побочного продукта от сжигания угля в несколько раз выше, чем угля, и выше, чем предельное значение 1,0 для результатов, собранных за все годы исследований.
Выводы: В статье представлено среднее значение и диапазон мощности дозы для нескольких типов сырья и строительных материалов. Средняя мощность дозы колеблется от 31,8 нГр/ч в случае угля, и до 140,8 нГр/ч для золы.

Ключевые слова: строительные материалы, естественная радиоактивность, ^{40}K, ^{226}Ra, ^{228}Th
Вид статьи: оригинальная научная статья

1. Introduction

At present, the evaluation of raw and building materials in terms of the presence of radioactivity concentration shall apply to the criteria published in the Ordinance of the Council of Ministers of 2 January 2007, (Journal of Laws No 4 pos. 29) "on the requirements regarding the content of natural isotopes of ^{40}K, ^{226}Ra and ^{228}Th in the raw materials and the materials used in buildings intended for the dwelling of people and livestock, and also in the industrial waste used in buildings and control of the content of these isotopes". It is the primary and the only act specifying the requirements for raw and building materials used in various types of construction activities.

The regulation classifies the possibility of applying different raw and building materials in various types of housing by specifying two parameters [1]:

- the qualification coefficient f_1 – specifies the content of natural isotopes in the test material and is the coefficient of the gamma radiation exposure to the whole body,
- the qualification coefficient f_2 (concentration of ^{226}Ra) – specifies the content of the test material and is the coefficient of the exposure of the lungs epithelium to the radiation emitted by the decay products of radon, i.e. alpha particles breathed into with air by the human respiratory system.

The values of the activity coefficients f_1 and f_2 are described by the formulae (1) and (2):

$$f_1 = S_K/3000\ [Bq/kg] + S_{Ra}/300\ [Bq/kg] + S_{Th}/200\ [Bq/kg] \quad (1)$$

$$f_2 = S_{Ra}\ [Bq/kg] \quad (2)$$

where: S_K, S_{Ra} and S_{Th} are the values of the activity concentration of the relevant radionuclides in Bq/kg.

Depending on the qualification coefficients, the raw and building materials are licensed to be utilized in various constructions.

The limit values of the activity coefficients f_1 and f_2 for the construction of dwellings are:

$$f_1 = 1 \text{ and } f_2 = 200\ Bq/kg$$

The measured values of $\mathbf{f_1}$ **and** $\mathbf{f_2}$ are being considered during the evaluation, but none can exceed the limit value by more than 20%, i.e.: $f_1 \leq 1.2$ **and** $f_2 \leq 240$ **Bq/kg**.
The total uncertainty value of the measurements has also been limited to 20% of the value of the coefficients f_1 and f_2, not less than 0.8 of their limit values.

Very important, from the point of view of radiation protection, is an increase in exposure due to natural radiation sources that causes an increase in the annual effective absorbed dose of about 1mSv. The limit values of activity coefficients f_1 and f_2 meet the criterion of not exceeding the annual effective dose which equals 1mSv. Similar limits for housing apply in Norway, while in Lithuania and Finland limits for raw and construction materials relate only to activity index f_1.

The limit values for the remaining applications in the construction industry are:

1. $f_1 = 2$ *and* $f_2 = 400$ **[Bq/kg]** regarding the industrial waste used in surface objects constructed in the built-up areas, or designed for built-up areas in the local urbanization plans, or for leveling of such areas;
2. $f_1 = 3{,}5$ *and* $f_2 = 1000$ **[Bq/kg]** regarding the industrial waste used in surface parts of the objects not mentioned in point 1 and for leveling of the areas not mentioned in the above point;
3. $f_1 = 7$ *and* $f_2 = 2000$ **[Bq/kg]** regarding the industrial waste used in the underground parts of the objects mentioned in point 2, and the underground constructions, including railway and road tunnels, excluding the industrial waste used in underground mining pits.

The gamma dose rate at the height of 1 m over the unlimited flat surface of the terrain of the average density of r = 1,6g/cm^3 is determined semi-empirically by the formula (3) [2]:

$$D = 0{,}043\, S_K + 0{,}43 S_{Ra} + 0{,}66\, S_{Th}\ [nGy/h] \qquad (3)$$

where S_K, S_{Ra}, S_{Th} – activity concentration in [Bq/kg] of respectively ^{40}K, ^{226}Ra (in radioactive equilibrium with daughter nuclides) and ^{228}Th (in radioactive equilibrium with daughter nuclides).

In addition, the absorbed dose rate at 1 m above ground level, road or facility should not exceed 0.3 μGy/h for the application of industrial waste to the levelling and the construction of roads, sports and recreational facilities.

2. Equipment and method

Most laboratories use the MAZAR analysers of the new generation or the AZAR ones of the older generation with the NaI (Tl) detector to determine the qualification coefficients f_1 and f_2 in Poland. These are three-windows analysers which determine the concentration of radioactive ^{40}K, ^{226}Ra and ^{228}Th. The windows of analyser are ^{40}K, ^{226}Ra and ^{228}Th in the ranges of 1.26 MeV to 1.65 MeV, 1.65 MeV to 2.30 MeV and 2.30 MeV to 2.85 MeV respectively. The efficiency calibration of the detector was performed with the use of volume standards ^{40}K, ^{226}Ra and ^{228}Th and a standards matrix (for background). The standard source are Marinelli beakers of 1.5 dm^3 volume and they are made for most laboratories by the Central Laboratory for Radiological Protection in Poland. The density of standard sources is equal 1.6 g/cm^3, while the density of samples of raw and building materials are within the range 0.6 to 2.0 g/cm^3. In order to minimize the outside gamma background, the detector is placed in a shielding house made of 50 mm lead. Shredded and screened through a 2 -millimetres-mesh sieve samples are packed into Marinelli beakers of 1.5 dm^3 volume and sealed. The samples are measured after the time elapse to establish the radioactive equilibrium between ^{226}Ra - ^{214}Bi and ^{228}Th - ^{208}Tl after about 2 weeks. All measurements were made in the same geometry and once.

3. The results and discussion

The qualification coefficient f_1 is representative for specifying the content of natural isotopes in the test material, because it contains natural radioactive isotopes, which are mostly in the earth crust such as ^{40}K, ^{226}Ra (represent ^{238}U series) and ^{228}Th (represent ^{232}Th series). Other natural radionuclides have minor significance.

Since 1990, there has been an increase in the number of qualification measurements of the natural radioactivity of raw and building materials, because of the economic development of the country. However, during the recent years the number of the natural radioactivity tests has been reduced, due to the wider usage of the construction materials of foreign origin, which are not subject to the mandatory testing in Poland.

The values of f_1 and f_2 for different raw and building materials (carbon, ash, cement, concrete and ceramics) are shown on Fig. 1 to Fig. 10 as a function of time.

Average values of the activity coefficients f_1 and f_2 for carbon are in the range of 0.15 to 0.43 (Fig. 1) and 14.7 Bq/kg to 44.2 Bq/kg (Fig. 2) respectively. In the whole period of time the values of f_1 and f_2 have not been exceeded. The difference between the minimum and maximum of f_1 and f_2 increases with the number of samples, which may be caused by measurements of materials of various geological origin (place of coal mining).

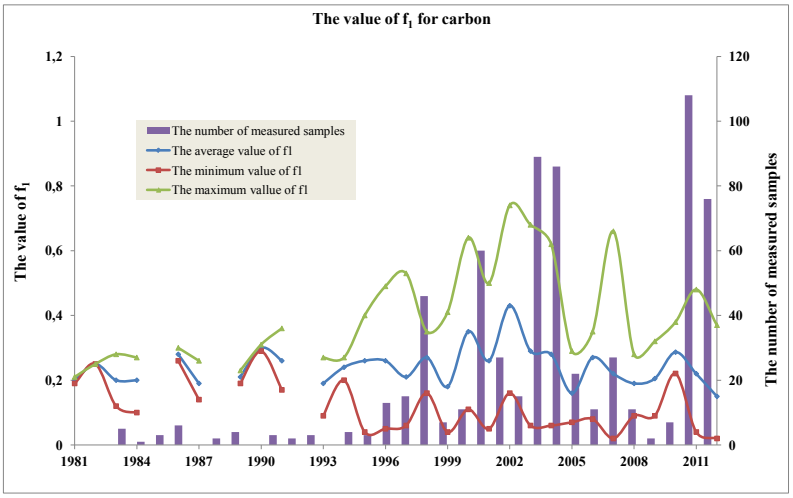


Fig. 1. The value of f_1 for carbon at different times
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.12

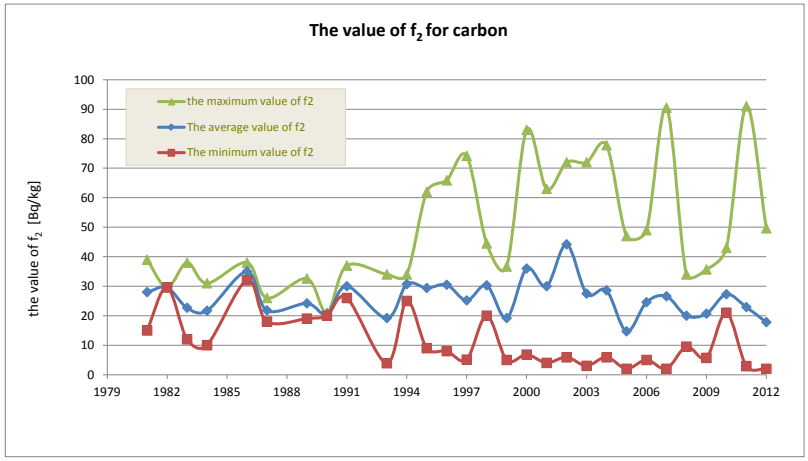


Fig. 2. The value of f_2 for carbon at different times
Source: Own elaboration.

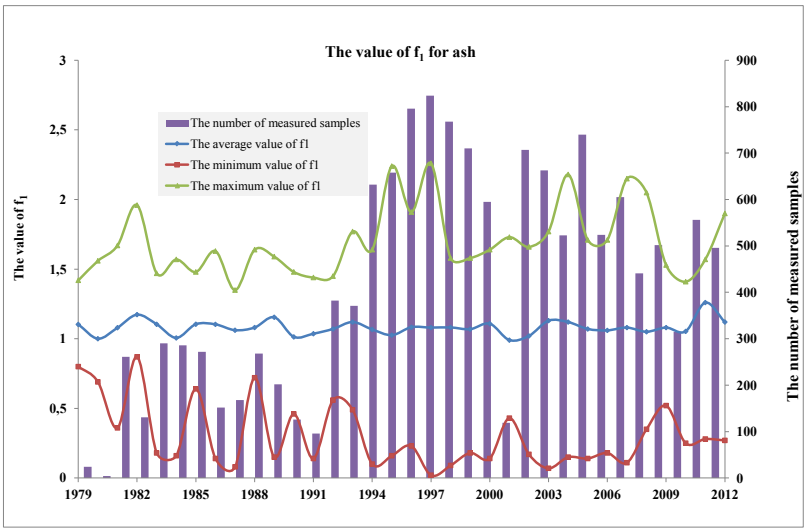


Fig. 3. The value of f_1 for ash at different times
Source: Own elaboration.

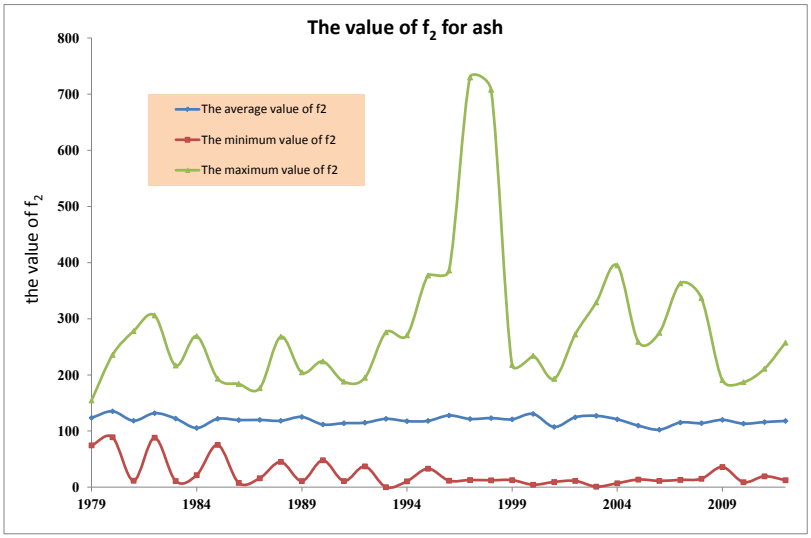


Fig. 4. The value of f_2 for ash at different times
Source: Own elaboration.

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 151–158
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.12

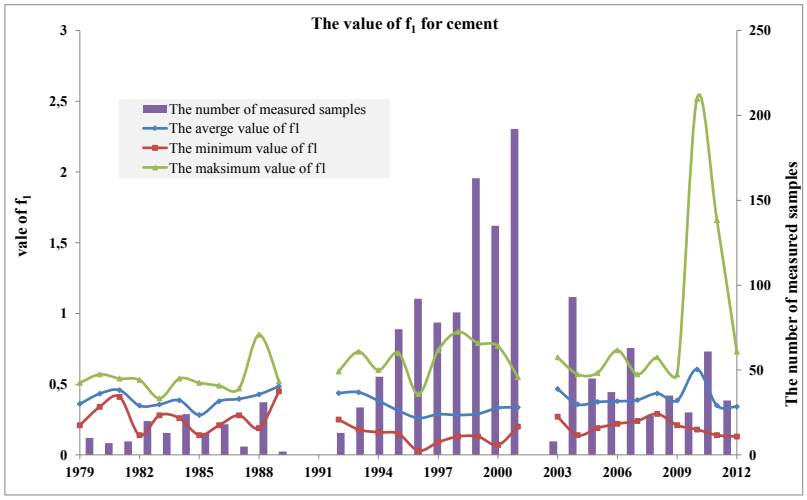


Fig. 5. The value of f_1 for cement at different times
Source: Own elaboration.

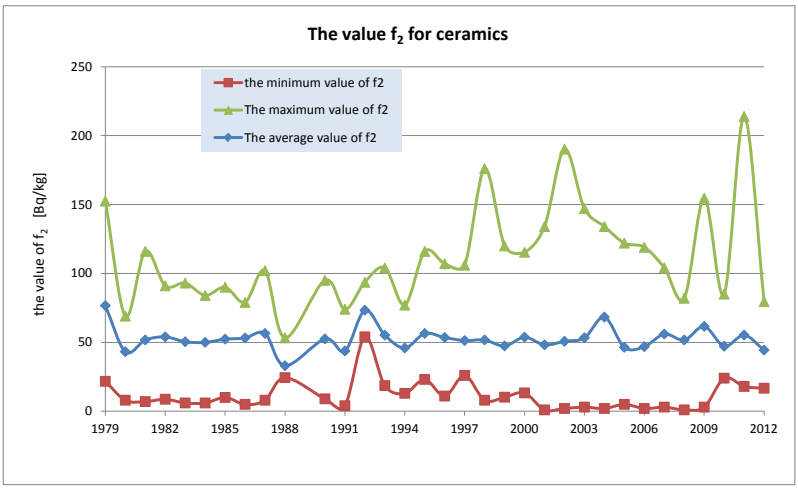


Fig. 6. The value of f_2 for cement at different times
Source: Own elaboration.

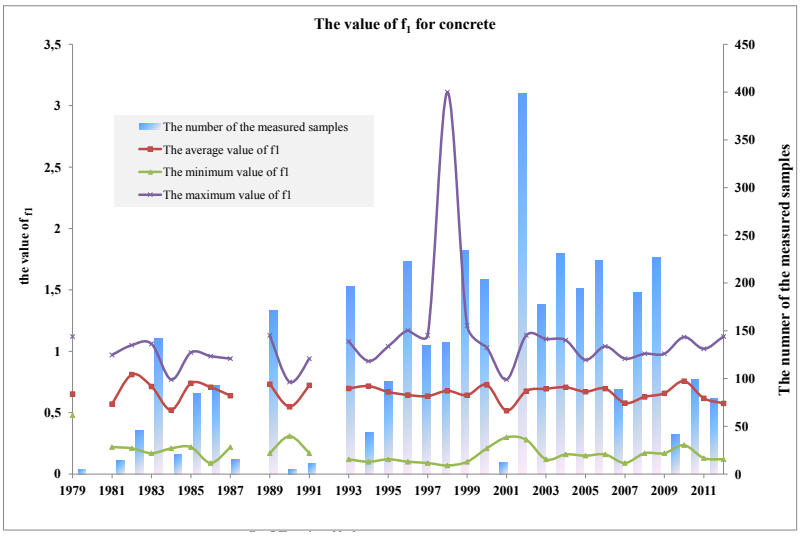


Fig. 7. The value of f_1 for concrete at different times
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.12

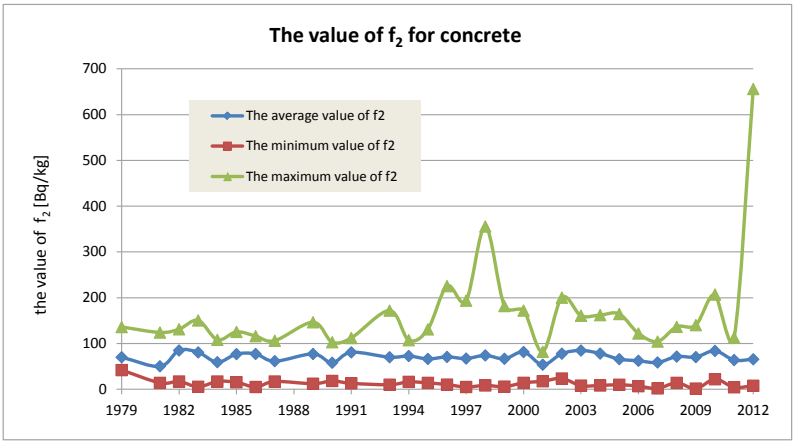


Fig. 8. The value of f_2 for concrete at different times
Source: Own elaboration.

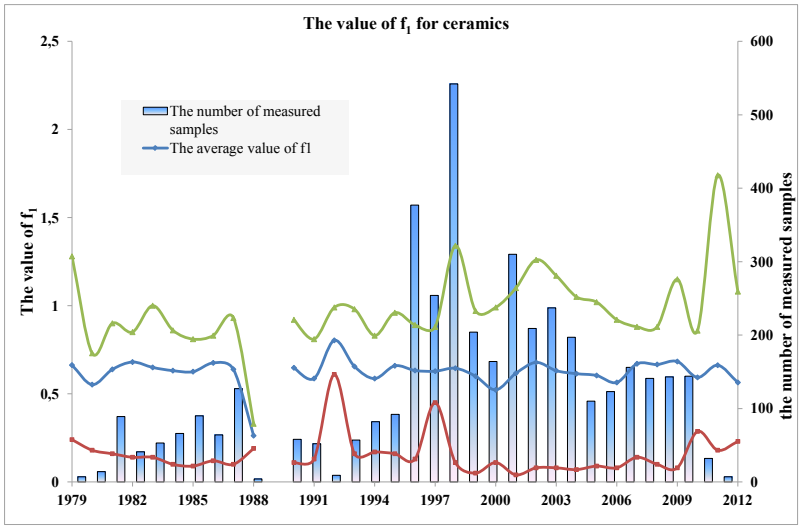


Fig. 9. The value of f_1 for ceramics at different times
Source: Own elaboration.

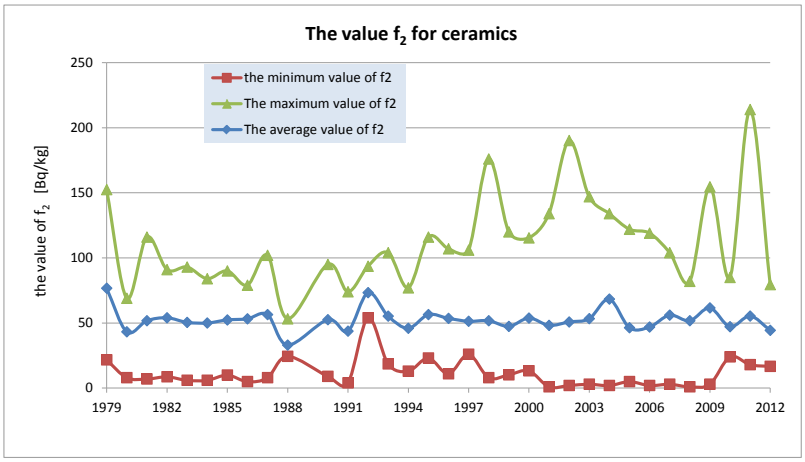


Fig. 10. The value of f_2 for ceramics at different times
Source: Own elaboration.

Average value of the activity coefficients f_1 for ash is above limit value $f_{1lim} = 1.0$, but below permissible value ($f_2 \leq 1.2$) if we want to use them for the construction of dwellings (except 2011). Average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for ash ranges from 0.99 to 1.26 (Fig. 3) and 102.4Bq/kg to 135.1Bq/kg (Fig. 4) respectively [3]. Maximum value of f_2 was above the limit value for the construction of dwellings almost every year (Fig. 4). Although after 1991 the number of measurements of samples significantly increased, the average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for ash remains at a relatively constant level, which can be caused by constant concentration of natural radionuclides in the ash.

Average values of the activity coefficients f_1 and f_2 for cement are well below limit values in the period of 1979-2012. The range of average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for cement is from 0.26 to 0.60 for f_1 (Fig. 5) and from 34.3 Bq/kg to 82.6 Bq/kg for f_2 (Fig. 6).

Average values of the activity coefficients f_1 and f_2 for concrete are in the range from 0.52 to 0.81 for f_1 (Fig. 7) and from 50.3 Bq/kg to 84.8 Bq/kg for f_2 (Fig. 8) and ratio f_2 to f_1 remains almost equal 100.

Average value of the activity coefficients f_1 and f_2 for ceramics are in the range from 0.26 to 0.80 for f_1 (Fig. 9) and from 33.0 Bq/kg to 76.7 Bq/kg for f_2 (Fig. 10).

The table 1 shows the average value of the qualification coefficients f_1 and f_2 and a dose rate **for the selected materials.** The level of the qualification coefficients f_1 is **exceeded** only for the ash**, but the dose rate is still below 0.3 μSv/h.**

Table 1. Average dose rate with min and max value for selected materials in the period 1979-2012

Material	Average f_1 / Range of average f_1	Average f_2 / Range of average f_2 [Bq/kg]	Average dose rate / Range of average dose rate [nGy/h]
Carbon	0.24 (0.15 ÷ 0.43)	26.2 (14.7 ÷ 44.2)	31.8 (19.5 ÷ 56.2)
Ash	1.08 (0.99 ÷ 1.26)	119.2 (102.4 ÷ 135.1)	140.8 (128.0 ÷ 152.7)
Cement	0.38 (0.26 ÷ 0.60)	48.9 (34.3 ÷ 82.6)	50.5 (36.9 ÷ 78.5)
Concrete	0.66 (0.52 ÷ 0.81)	70.3 (50.3 ÷ 84.8)	86.5 (67.1 ÷ 105.5)
Ceramics	0.62 (0.26 ÷ 0.80)	52.6 (33.0 ÷ 76.7)	81.0 (34.2 ÷ 104.8)

Source: Own elaboration.

4. Conclusion

The qualification coefficients f_1 and f_2 are almost constant only for ash taking into account the entire period of the monitoring of the raw and building materials. It means is important to control all of them. The highest level of the qualification coefficients f_1 and f_2 are for ash and the lowest is for carbon – it is due to the process of the concentration of the radionuclides caused by the combustion process.

The concentration coefficient for the combustion is 4.5 on average. Higher values of qualification coefficients f_1 and f_2 characterize the materials containing considerable amounts of industrial raw materials such as ash or slag.

The level of qualification coefficients f_1 and f_2 for the ceramics is approximately twice as low as for the ash. The average values of f_1 during the study period since 1979 have not exceeded (except for ash in 2011) the limit for the applications in the construction of dwellings ($f_1 < 1.2$).

Although the average value of qualification coefficient f_2 for ceramics and cement is at similar level, the average value of f_1 for ceramics is almost 2 times higher, because concentration of ^{40}K dominates in natural activity.

The analysis of the number of values higher than the limits for the activity coefficients f_1 and f_2 for dwellings and public constructions in 1979-2012 shows that the trend of the average values of the activity coefficients f_1 and f_2 has remained constant for the last years.

The article was written within the project "An IT tool for assessing a risk of accidents in industrial companies posing a threat outside their areas" financed by the National Centre for Research and Development.

Literature

[1] Rozporządzenie Rady Ministrów z dn. 2 stycznia 2007 roku (Dz. U. Nr 4, poz. 29) (The Ordinance of the Council of Ministers of 2 January 2007, (Journal of Laws No 4 pos. 29).
[2] Beck H.L., *The natural radiation environment*, [in:] *US Energy Research and Development Administration Report*, Adams J.A. S., Lowder W.M. (eds.), The University of Chicago Press, Chicago 1972.
[3] Żak A., Isajenko K., Piotrowska B., Kuczbajska M., Ząbek A., Szczygielski T., *Natural radioactivity of waste*, „Nukleonika" 2008, 55(3), 387-391.

Barbara Piotrowska, M.A. – since July 1, 2009 an employee of the Central Laboratory for Radiological Protection in the Department of Dosimetry as Deputy Head. Previously, she worked at the Military Institute of Chemistry and Radiometry. Engaged in gamma spectrometry since 1996. Currently, she works on natural radioactivity in raw and building materials, and conducts training in this field of research. She is the manager of the Technical accredited Laboratory of Natural Radioactivity Measurements in CLOR.

Marian Fujak, M.Sc.Eng. – nuclear physicist by profession (he graduated from the Faculty of Nuclear Physics of the Academy of Mining and Metallurgy in Krakow), in 2016 an employee of IAEA (International Atomic Energy Agency) in Monaco in the

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.12

Department of Radiometry, Senior Research and low-level counting Assistant. In 2014-2015 he worked in the nuclear industry in Germany (decontamination EON nuclear power plant Stade, storage of nuclear materials Remlingen Asse II) as an engineering sciences specialist in nuclear measuring techniques. In 2012-2013 CLOR's employee in the Department of Dosimetry as a specialist. In 2008-2011 an employee of EAWAG -Aquatic Science and Technology Dübendorf (Switzerland) as a specialist in the field of nuclear measuring methods. Participant in the monitoring of radioactivity in the aquatic environment in Switzerland for the Ministry of Health. He collaborated in numerous national and international projects in the field of nuclear spectrometry.

Krzysztof Isajenko, M.Sc.Eng. – Deputy Director of the Central Laboratory for Radiological Protection (CLOR) in Warsaw, Head of Department of Dosimetry in CLOR, Head of the accredited Laboratory of Natural Radioactivity Measurements; graduated from the Faculty of Technical Physics and Applied Mathematics of the Warsaw University of Technology, a longtime member of the Exploration of the Sea of the Polish Academy of Sciences, lecturer at the Faculty of Physics at the Warsaw University of Technology, participant in many training courses on radiation protection and nuclear safety (both domestic and foreign), the author or co-author of numerous publications dealing with these topics.

Sylwia Krawczyńska, M.A. – Deputy Director for Research and Development in the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP-PIB), an academic teacher at The Main School of Fire Service (SGSP), a graduate of the Faculty of Mathematics, Informatics and Mechanics of the University of Warsaw, doctoral studies at the Collegium of Economic Analysis of the Warsaw School of Economics, post-graduate studies Management in the United Threats at SGSP and Modern Methods of Strategic Management at the School of Management and Law and The School of Business Trainers. Since 2002, she has been related to the environment of firefighting and fire protection. The author of 13 publications in the field of mathematical modeling and economic analysis in the field of safety engineering, safety education and human resources management in the uniformed services. She has experience in the field of research projects at national and international level (FP5, FP6, FP7, Erasmus +).

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 159–164

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.13

mgr inż. **Jarosław Borysewicz**[1]
Paweł Stępień[1]
mgr inż. **Łukasz Chołuj**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 21.09.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 20.12.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Wymagania, metody badań i kryteria oceny właściwości sygnalizatorów optycznych (VAD). Metoda pomiaru rozsyłu światła[2]

Requirements, Test Methods and Criteria For Assessing Optical Signaling Devices (VAD). The Method of Measuring Light Distribution

Требования, методы исследований и критерии оценки эффективности работы оптических пожарных оповещателей. Метод измерения распределения света

ABSTRAKT

Wprowadzenie: Badania sygnalizatorów optycznych są prowadzone w oparciu o wytyczne normy europejskiej EN 54-23:2010 [1]. Dokument ten ułatwia, projektantom pożarowych systemów alarmowania, dobór właściwego sygnalizatora optycznego do konkretnego pomieszczenia. Wzięto w nim pod uwagę potrzeby osób niepełnosprawnych oraz uwzględniono aspekty medyczne, które mogą się pojawić przy użytkowaniu sygnalizatorów optycznych. Artykuł przedstawia budowę i sposób działania stanowiska do pomiaru źródła światła błyskowego oraz do pomiaru synchronizacji.
Cel: Celem artykułu jest przedstawienie wybranych metod badań sygnalizatorów optycznych. Autorzy przyjęli za cel pracy zapoznanie czytelnika z różnymi aspektami wprowadzenia do badań normy europejskiej EN 54-23:2010 (Fire detection and fire alarm systems. Part 23: Fire alarm devices – Visual alarm devices). Artykuł ma na celu zapoznanie zainteresowanych osób z istniejącym stanowiskiem badawczym w laboratorium Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki w CNBOP-PIB. Praca ta przedstawia wyniki badań przeprowadzonych w laboratorium, ich ocenę oraz wnioski.
Metody i wyniki: W artykule opisano trzy podstawowe kategorie, do których należy zaklasyfikować dany sygnalizator optyczny. Podział uwzględnia sposoby montażu urządzenia na obiekcie. Umożliwia określenie wielkości i kształtu obszaru objętego sygnalizacją świetlną. Zawiera wskazówki dotyczące doboru odległości pomiędzy urządzeniami. Badania laboratoryjne polegają na wykonaniu serii pomiarów efektywnej intensywności światła. Pomiary są wykonywane w dwóch prostopadłych płaszczyznach i w tej samej odległości. Umożliwia to bardzo dokładne wyznaczanie kształtu i wymiarów obszaru, który jest obsługiwany przez pojedynczy sygnalizator optyczny. Ponadto w artykule przedstawiono metodę pomiaru synchronizacji dwóch sygnalizatorów. Zmierzono różnice czasu między dwoma rozbłyskami. Pomiary były wykonywane przez 30 minut od załączenia obydwu próbek.
Wnioski oraz podsumowanie: Przeprowadzone w laboratorium pomiary światła emitowanego przez sygnalizator umożliwiają określenie kategorii i obszaru zastosowania sygnalizatora optycznego. Dzięki wykonanym badaniom lepiej można dobrać sygnalizator optyczny do konkretnego zastosowania oraz uniknąć niekorzystnych sytuacji, np. dla osób z symptomami padaczki. Zbudowane stanowiska usprawniają prace badawcze w laboratorium i dostarczają wielu cennych informacji konstruktorom sygnalizatorów optycznych.

Słowa kluczowe: sygnalizatory optyczne, światło błyskowe, bezpieczeństwo pożarowe, niepełnosprawność
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Introduction: The effectiveness of fire risk notification depends not only on the speed of getting the message to the recipient. This information should also be noticed by people who, at that moment, for various reasons cannot hear it. The tests are carried out based on the guidelines of European Standard EN 54-23:2010. This document makes it easier for designers of fire alarm systems to select a proper visual alarm device for a specific room. The needs of disabled people were taken into account and medical aspects were included that may arise while using VADs. The article presents the construction and modus operandi of the measuring device used to measure the source of flash light and synchronization.

1 Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowy Instytut Badawczy / The Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, Poland;
2 Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu / The authors contributed equally to this article;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.13

Purpose: The purpose of this article is to present selected test methods of visual alarm devices. The authors have adopted as the purpose of study to acquaint the reader with various aspects introducing a European Standard EN 54-23:2010 (Fire detection and fire alarm systems. Part 23: Fire alarm devices - Visual alarm devices) when conducting tests. The aim of this article is to familiarize interested people with the measuring device located at the Laboratory of Fire Alarm Systems and Fire Automation in CNBOP-PIB. This work presents the results of tests that have been conducted at the laboratory. It also includes their evaluation and conclusions.
Methods and results: The article describes three basic categories by which visual alarm devices should be classified. The division takes into account the method of mounting the device in buildings. This division allows to specify the size and shape of the area covered by the signaling light. It provides guidance on the assortment of the distance between the devices. Laboratory tests consist of making multiple series of measurements of the effective light intensity. Measurements are made in two perpendicular planes, and at the same distance. This allows to precisely determinate the shape and dimensions of the area which is supported by a single visual alarm device. Moreover, the method of measuring the synchronization of two VADs is described in the article. Time differences between two flashes were measured. The measurements were made during 30 minutes after the supply has been applied to the devices.
Conclusions and summary: Measurements of light emitted by the VAD conducted at the laboratory allow to specify the category and application area of a visual alarm device. Due to the conducted measurements, a visual alarm device may be selected for a specific application and adverse situations can be avoided, for example: for people with symptoms of epilepsy. The measuring devices located in the laboratory improve tests conducted at the laboratory and provide valuable information for designers of the visual alarm devices.

Keywords: visual alarm devices, beacon, fire safety, disability
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Введение: Исследования оптических пожарных оповещателей проводятся согласно основным принципам европейского стандарта EN 54-23:2010. Этот документ упрощает проектантам систем пожарной сигнализации выбор соответствующего оптического оповещателя для конкретного помещения. В нем взяты во внимание потребности людей с ограниченными возможностями а также учтены медицинские аспекты, которые могут возникнуть при использовании оптических оповещателей. В статье представлены создание и эксплуатация стенда для измерения источника света вспышки и для измерения синхронизации.
Цель: Цель данной статьи – представить отдельные методы исследования оптических оповещателей. В данной работе авторы поставили себе цель ознакомить читателя с различными аспектами использования в исследованиях европейского стандарта EN 54-23: 2010 (Fire detection and fire alarm systems. Part 23: Fire alarm devices – Visual alarm devices). Статья направлена на ознакомление всех заинтересованных с существующими научно-исследовательским стендом в Группе Лабораторий Пожарной Сигнализации и Автоматики в CNBOP-PIB. Работа представляет результаты лабораторных исследований, их оценку и выводы.
Методы и результаты: В статье описываются три основные категории, к которым следует причислить данный оптический оповещатель. Деление учитывает монтажа прибора устройства на объекте. Дает возможность указать размер и форму площади, охваченной световой сигнализацией. В нем содержатся указания по выбору расстояния между приборами. Лабораторные исследования основываются на серии измерений эффективной интенсивности света. Измерения проводятся в двух перпендикулярных плоскостях и на одинаковом расстоянии. Это позволяет очень точно определить форму и размеры площади, которую охватывает один оповещатель. Кроме того, в статье представлен метод измерения синхронизации двух оповещателей. Измерена также разница во времени между двумя вспышками. Измерения проводились в течение 30 минут после включения обоих образцов.
Заключение и выводы: Проведенные в лаборатории измерения света, излучаемого оповещателем, позволяют определить категорию и область применения оптического оповещателя. Проведенные исследования позволяют сделать лучший выбор оптического оповещателя для конкретного применения и избежать неблагоприятных ситуаций, например, для людей с симптомами эпилепсии. Стенды облегчают проведение исследований в лаборатории и предоставляют ценную информацию проектантам оптических оповещателей.

Ключевые слова: оптические оповещатели, свет вспышки, пожарная безопасность, инвалидность
Вид статьи: обзорная статья

1. Wstęp

Jednym z zasadniczych celów stosowania w budynkach instalacji sygnalizacji pożarowej jest zapewnienie możliwości alarmowania użytkowników obiektu w przypadku pojawiającego się zagrożenia. Alarmowanie o pożarze może być realizowane z wykorzystaniem różnorodnych środków alarmowania. Jednym z takich rozwiązań są sygnalizatory optyczne.

Sygnalizatory optyczne są stosowane jako uzupełnienie sygnalizacji akustycznej, szczególnie w sytuacji, gdy sygnalizacja akustyczna może okazać się niewystarczająca. Ważnym aspektem stosowania sygnalizacji optycznej jest zatem skuteczne informowanie o zaistniałym niebezpieczeństwie pożarowym osób głuchych, niedosłyszących lub pracujących w pomieszczeniach o dużym pozio mie hałasu.

1.1. Przegląd literatury

W 2010 r. ukazała się norma europejska PN-EN 54-23:2010 Systemy sygnalizacji pożarowej – Część 23: Pożarowe urządzenia alarmowe – Sygnalizatory optyczne [1], która zawiera szczegółowe wymagania stawiane sygnalizatorom optycznym. Podczas badań sprawdzana jest funkcjonalność sygnalizatora optycznego, jego odporność i wytrzymałość na warunki środowiskowe oraz zaburzenia elektromagnetyczne. W badaniach tych wykorzystuje się aparaturę oraz urządzenia kontrolno-pomiarowe posiadające świadectwa wzorcowania wydane przez laboratoria akredytowane w Polskim Centrum Akredytacji (PCA).

Przed publikacją normy PN-EN 54-23:2010 [1] nie było metody określania skuteczności pracy sygnalizatorów optycznych wytwarzających sygnał pulsujący. Producenci sygnalizatorów optycznych podają poziom emitowanego przez nie światła w różnych jednostkach np.: w kandelach [cd], dżulach [J], lub w watach [W]. Utrudnia to projektantom systemów sygnalizacji alarmu optymalny dobór sygnalizatorów optycznych do konkretnych warunków środowiskowych oraz sposób ich montażu. Norma ta określa zarówno warunki badań, jak i obszar zastosowania sygnalizatorów optycznych. Norma PN-EN54-23:2010 [1] wprowadza także nową terminologię – skrót VAD oznaczający wizualne urządzenia alarmowe, sygnalizatory optyczne i sygnalizatory akustyczno-optyczne, wytwarzające światło migające lub pulsujące.

Sygnalizatory optyczne (VAD) należą do grupy wyrobów, które muszą uzyskać certyfikat zgodności, zanim zostaną wprowadzone do obrotu. Dlatego stworzenie metod badań oraz budowa stanowiska były tak ważne. Analiza dostępnych norm i aktów prawnych, których wykaz zaprezentowano na końcu artykułu, pozwoliła na opracowanie metod badawczych oraz założeń do budowy stanowiska badawczego.

Prace nad metodyką badawczą oraz budową stanowiska opierały się na wymaganiach, metodach badań i kryteriach oceny właściwości sygnalizatorów optycznych (VAD) zawartych w normach europejskich serii EN 54.

W związku ze zbliżającym się terminem zakończenia okresu przejściowego dla normy EN 54-23, możemy oczekiwać, iż na rynku pożarowych sygnalizatorów optycznych pozostaną tylko urządzenia spełniające zaostrzone wymagania, a w konsekwencji w powszechnym użyciu będą tylko sygnalizatory zapewniające wysoką skuteczność ostrzegania o zagrożeniu pożarowym.

Norma PN-EN 54-23:2010 [1] dotyczy tylko pulsujących lub migających wizualnie urządzeń alarmowania wykorzystujących, jako źródło światła, lampy ksenonowe, diody elektroluminescencyjne (LED) lub obracające się lampy sygnalizacyjne. Urządzenia zapewniające ciągłą emisję światła oraz wskaźniki wizualne umieszczone np. w czujkach, wskaźnikach zadziałania oraz w urządzeniach sterujących i sygnalizacyjnych, takich jak centrale sygnalizacji alarmu pożaru, są wyłączone z tej normy.

Zbudowane w laboratorium Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki CNBOP-PIB urządzenie do badań sygnalizatorów optycznych jest pierwszym w kraju, akredytowanym przez PCA, stanowiskiem badawczym do wykonywania pomiarów zgodnie z wymaganiami stawianymi przez normę PN-EN 54-23:2010 [1].

1.2. Podstawowe parametry

Na stanowisku mierzony jest efektywny poziom luminancji w [cd] wg wzoru Blondel-Rey z odległości nie mniejszej niż 3 m. Pomiary natężenia źródła światła wykonywane są w płaszczyźnie poziomej i pionowej, w zakresie pełnego pokrycia, co kilka lub kilkanaście stopni. Maksymalna liczba punktów pomiarowych (dla różnych kątów), w zależności od deklarowanego zasięgu działania sygnalizatora, wynosi nawet 871. W każdym punkcie pomiarowym dokonuje się 10 pomiarów w celu wyznaczenia wartości średniej. Pomiary służą do zakwalifikowania badanego sygnalizatora do odpowiedniej klasy: *C, W, O* oraz wyznaczenia maksymalnej wysokości montażu, jak również obszaru pokrycia danego sygnalizatora, tzn. wielkości zabezpieczanego terenu.

Pomiarom podlegają błyski światła widzialnego w zakresie częstotliwości od 0,5 Hz do 2 Hz wytwarzanego przez optyczne lub akustyczno-optyczne sygnalizatory. Podczas testowania zgodnie z p. 5.4, normy PN-EN 54-23 [1], skuteczne natężenie światła to wartość nie mniejsza niż 1 cd dla 70% wszystkich punktów pomiarowych i nie wyższa niż 500 cd dla żadnego z punktów pomiarowych.

Wyniki pomiarów są niezwykle pomocne w procesie projektowania – na etapie ustalania rozmieszczenia sygnalizatorów optycznych, tak aby uzyskać najwyższą skuteczność informowania o zagrożeniu w danych warunkach środowiskowych, czyli w odniesieniu do konkretnych wymagań otoczenia i osób tam przebywających.

Pojedynczy sygnalizator optyczny powinien zapewnić w tzw. obszarze pokrycia oświetlenie nie mniejsze niż 0,4 lm/m^2 (lux).

Norma wprowadza zatem podział sygnalizatorów optycznych na trzy kategorie:

a) C – urządzenia montowane na suficie;
b) W – urządzenia montowane na ścianie;
c) O – urządzenie klasy otwartej.

Dla urządzeń kategorii C należy podać maksymalną wysokość montażu: 3, 6 lub 9 metrów oraz średnicę (w metrach) cylindrycznego obszaru będącego zasięgiem działania urządzenia zabudowanego na wysokości sufitu, w którym sygnalizator osiąga wymagane natężenie światła. Na przykład *C-3-6* oznacza, że sygnalizator zamontowany na wysokości trzech metrów zapewnia wymagane natężenie światła w walcu o średnicy 6 metrów i wysokości 3 metrów.

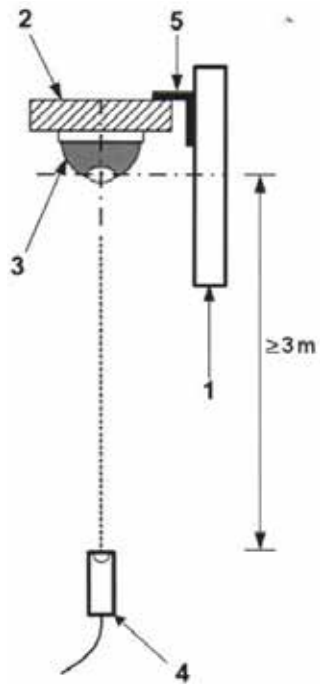
Dla urządzeń kategorii W należy określić maksymalną wysokość montażu urządzenia na ścianie (minimum 2,4 m) oraz szerokość (w metrach) sześciennego obszaru, w którym wymagane natężenie oświetlenia jest zgodne z normą. Na przykład *W-2,4-4* oznacza, że sygnalizator zamontowany na ścianie na wysokości 2,4 m zapewni wymagane natężenie światła w przestrzeni o wymiarach 2,4×4×4 m.

Zaś w przypadku urządzeń trzeciej kategorii O producent powinien podać charakterystykę pokrycia (dane określające zasięg działania urządzenia). Można to zrealizować w postaci wykresu bryły R3 lub odpowiednich jej przekrojów.

Aby wyrób spełniał wymagania normy, producent powinien jasno – za pomocą odpowiednich współczynników (w przypadku kategorii *C* – ang. *ceiling mounted devices* lub *W – wall mounted devices*) lub poprzez podanie kształtu bryły (dla kategorii *O – open class devices*) określić obszar pokrycia. Według normy niedopuszczalne jest np. charakteryzowanie obszaru pokrycia poprzez podawanie energii błysku (dla urządzeń wykorzystujących palniki ksenonowe), jasności sygnalizatora, np. ogólnej wartości 2 cd bez odniesienia do kształtu bryły fotometrycznej itp.

1.3. Metoda pomiaru rozsyłu światła emitowanego przez VAD

Próbkę należy zamontować na przyrządzie testowym w sposób pokazany na ryc.1 oraz umieścić w zaciemnionym pomieszczeniu.



Ryc. 1 Schemat przyrządu testowego [1]
Legenda: 1 – talerz do wykonywania obrotów α, 2 – talerz do wykonywania obrotów β, 3 – VAD (sygnalizator optyczny), 4 – czujnik światła, 5 – wspornik łączący talerze obrotowe

Fig. 1. Diagram of the test instrument [1]
Key: 1 – Turntable for making α rotations, 2 – Turntable for making β rotations, 3 – VAD (visual alarm device), 4 – Light sensor, 5 – Bracket connecting turntables

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.13

Skuteczne natężenie światła emitowanego przez VAD należy wyliczyć według formuły Blondel-Rey [1]:

$$I_e = \frac{\int_{t_1}^{t_2} I \cdot dt}{0.2 + (t_2 - t_1)}$$

gdzie:
I_e – skuteczne natężenie światła emitowanego przez VAD [cd],
a = 0,2 s,
I(t) – chwilowe natężenie światła emitowanego przez VAD [cd],
(t_2-t_1) – czas trwania pojedynczego impulsu [s] [1].

Należy dokonać pomiaru następujących parametrów badanego sygnalizatora optycznego (powołano się na odpowiednie podpunkty normy PN-EN 54-23):

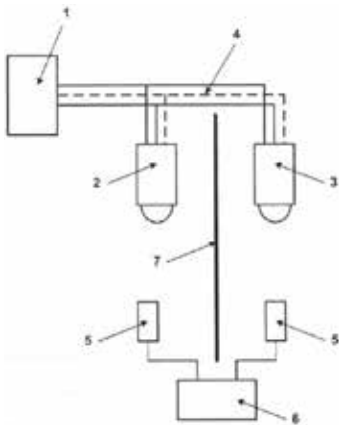
a) zmiana natężenia światła – p. 5.3.2 (zmienność światłości);
b) powtarzalność – p. 5.1.7 (minimalne i maksymalne skuteczne natężenie światła);
c) chwilowy wzorzec światła i częstotliwość migania – p. 4.3.5 (wzór światła i częstotliwość błysków).

Zmiana natężenia światła – podczas testu trwającego 30 minut, zmiana skutecznego natężenia światła emitowanego przez VAD, nie powinna być większa niż 33% wartości maksymalnej.

Minimalne i maksymalne skuteczne natężenie światła – podczas testu VAD powinno wytwarzać skuteczne natężenie światła emitowanego, wynoszące minimum 1 cd dla co najmniej 70% wszystkich punktów pomiarowych i nieprzekraczające 500 cd w żadnym z tych punktów.

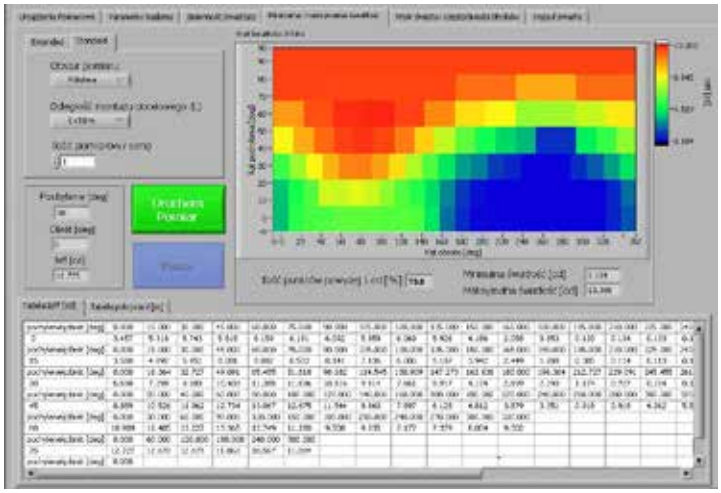
Chwilowy wzorzec światła i częstotliwość migania – częstotliwość migania VAD powinna leżeć w przedziale od 0,5 Hz do 2 Hz. Maksymalny czas pozostania w stanie włączonym nie może przekroczyć 0,2 s.

Ciekawym problemem do rozwiązania stała się synchronizacja impulsów optycznych, która jest konieczna ze względu na możliwość wywoływania ataku epilepsji w przypadku zainstalowania w jednym pomieszczeniu dwóch lub więcej sygnalizatorów optycznych. Migające światło, zwłaszcza w ciemnym pomieszczeniu może u ludzi chorych wywołać atak padaczki [2]. Zastosowanie dwóch lub więcej niezsynchronizowanych sygnalizatorów mogłoby doprowadzić osoby chore na padaczkę do szkodliwych dla zdrowia konsekwencji. „Na padaczkę cierpi ok. 1% ludzi na całym świecie (65 milionów) [3], przy czym niemal 80% z nich mieszka w krajach rozwijających się" [4]. W takim przypadku sygnalizatory optyczne powinny posiadać funkcje synchronizacji impulsów optycznych. Wymagania te są fakultatywne i są opisane w punkcie 5.3.7 „Synchronizacja (opcja z wymaganiami)" normy PN-EN 54-23 [1]. Synchronizacja sygnalizatorów optycznych może być zrealizowana na kilka sposobów. Najczęściej można poprowadzić dodatkowy przewód wyzwalający. Raczej rzadko stosuje się wewnętrzne obwody do synchronizacji lub na innej drodze wybranej przez producenta. Zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 54-23 [1] należy sprawdzić zdolność dwóch sygnalizatorów optycznych do wytwarzania zsynchronizowanych błysków w czasie 30 minut od załączenia. Pomiary synchronizacji należy wykonać od razu po włączeniu obu sygnalizatorów oraz po 5, 10, 15, 20, 25 i 30 minutach nieprzerwanej pracy. W momencie załączenia różnica czasowa nie powinna być większa niż 20 ms. Natomiast w pozostałych 6 punktach nie powinna przekraczać 50 ms. Pomiary należy wykonać dla dwóch skrajnych napięć zasilania badanego sygnalizatora.



Ryc. 2. Schemat stanowiska do badania synchronizacji sygnalizatorów optycznych [1]
Legenda: 1 – urządzenie zasilająco-sterujące, 2 i 3 – badane sygnalizatory optyczne, 4 – przewód wyzwalający (jeżeli wymagany), 5 – czujniki światła, 6 – dwukanałowy przyrząd pomiarowo-rejestrujący, 7 – ekran światłoszczelny.

Fig. 2. The scheme of the station used for testing the synchronization of visual alarm devices [1]
Key: 1 – power supply/control equipment, 2, 3 – VAD under test, 4 – trigger wire (if required), 5 – light sensors, 6 – dual channel signal measurement/recording instrument, 7 – light-proof screen



Ryc. 3. Zakładka: minimalna i maksymalna światłość
Fig. 3. Photo of the screen tab: "minimum and maximum intensity"

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 159–164
DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.13

Pomiary należy wykonywać w pomieszczeniu zaciemnionym o ścianach matowych, w którym natężenie oświetlenia nie jest większe od 0,2 lux.

Zebrane podczas pomiarów dane pozwalają na wykonanie badań zgodnie z następującymi podpunktami normy PN-EN 54-23 [1]:

a) zmiana natężenia światła p. 5.3.2 (zmienność światłości);
b) powtarzalność p. 5.1.7 (minimalne i maksymalne skuteczne natężenie światła);
c) chwilowy wzorzec światła i częstotliwość migania p. 4.3.5 (wzór światła i częstotliwość błysków).

Przedstawiony na ryc. 3 zrzut ekranu pokazuje wyniki pomiarów i obróbki cyfrowej minimalnego i maksymalnego poziomu światłości w postaci graficznej i cyfrowej.

Ryc. 4. Stojak z zamocowaną próbką i elementem realizującym obrót
Fig. 4. Stand with fixed sample and the element making the rotation

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Przedstawiony na ryc. 4 stojak zawiera (niewidoczną na zdjęciu) skrzynkę sterownika, goniometr oraz zamocowany optyczny wskaźnik zadziałania. Podstawowym zadaniem goniometru jest ustawienie badanej próbki pod odpowiednim kątem w płaszczyźnie poziomej i pionowej, zgodnie z wytycznymi normy PN-EN 54-23:2010 [1]. Cała konstrukcja jest mobilna, co umożliwia jej swobodne przemieszczanie i właściwą lokalizację względem układu pomiarowego zamocowanego na drugim stojaku (ryc. 5).

Ryc. 5. Stojak z elementem pomiarowym
Fig. 5. Stand with measuring element

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Przedstawiony na ryc. 4 stojak zawiera element pomiarowy w postaci luksomierza oraz układ mechaniczno-elektroniczny do jego precyzyjnego przemieszczania w osi pionowej celem dokładnego nakierowania na badaną próbkę. Z tyłu znajduje się karta przetwornika zbierającego sygnał analogowy z luksomierza i zamieniająca go na postać cyfrową, poddawaną dalszej obróbce w komputerze.

Ze względu na brak dedykowanego tylko do tych celów pomieszczenia całe stanowisko jest mobilne.

1.4. Wyniki pomiarów minimalnego i maksymalnego efektywnego natężenia światła

W laboratorium przeprowadzono pomiar natężenia źródła światła celem wyznaczenia lub potwierdzenia deklarowanej kategorii obszaru pokrycia. Dostępnych było pięć sygnalizatorów trzech różnych europejskich firm. Badaniom poddano sygnalizator wykorzystujący lampę stroboskopową. Producent nie zadeklarował wartości współczynnika pokrycia. Wyznaczono je na podstawie pomiarów. Wymagania normy zostały spełnione. Druga wartość we współczynniku pokrycia y=0,9 m oznacza obszar pokrycia o średnicy 0,9 m w przypadku walca oraz kwadrat o podstawie 0,9 m dla obszaru pokrycia będącego prostopadłościanem. Umieszczanie sygnalizatorów optycznych na ścianie lub na stropie co 90 cm, żeby spełnić wymagania normy, nie jest opłacalne. Zadeklarowany przez producenta drugiej firmy współczynnik pokrycia W-3-12 oraz C-2,4-6 nie został spełniony dla kąta pochylenia sygnalizatora w płaszczyźnie $\alpha=0°$. Dla każdego kąta obrotu β natężenie światła w tym obszarze było mniejsze od wymaganej wartości progowej 0,4 lm/m^2. Zadeklarowane przez trzeciego producenta wartości współczynnika pokrycia dla światła białego C-6-6, W-2,4-7,7 oraz dla czerwonego C-6-4,7 i W-2,4-3,8 zostały potwierdzone w badaniach laboratoryjnych.

1.5. Pomiar synchronizacji (wymaganie nieobowiązkowe)

Celem badania jest wykazanie zdolności sygnalizatora do zachowania synchronizacji w ciągu 30 minut od załączenia [1]. Badaniom poddawane są dwa sygnalizatory posiadające tę funkcję.

Stanowisko badawcze składa się z dwóch komór oddzielonych przegrodą optyczną. W lewej komorze umieszcza się sygnalizator optyczny oznaczony A (kanał CH0). W prawej komorze umieszczany jest sygnalizator B (kanał CH1).

W skład każdej komory wchodzą:

- głowica pomiarowa typ GLA-10,
- półka z płynną regulacją odległości,
- półka do zamocowania przysłony optycznej,
- złącze do podłączenia sygnalizatora.

Ryc. 6. Widok wnętrza stanowiska do badania synchronizacji
Fig. 6. View of the interior stations for testing synchronization

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.13

W stanowisku do zbierania informacji z głowic pomiarowych GLA-10 wykorzystano dwa kanały analogowe CH0, CH1, znajdujące się w karcie pomiarowej. Sterowanie systemu pomiarowego odbywa się z wykorzystaniem złącza cyfrowego I/O. Zainstalowany w komputerze program PSB umożliwia:

- sterowanie pracą systemu,
- zbieranie informacji z głowic GLA-10,
- wyznaczanie czasu synchronizacji,
- wizualizację wyników na ekranie,
- tworzenie protokołu z pomiarów czasu synchronizacji.

Ryc. 7. Zrzut ekranu z wynikami pomiarów
Fig. 7. Screenshot of measurement results

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

2. Wnioski

Skuteczne alarmowanie wymaga stosowania niezawodnych urządzeń alarmowych posiadających odpowiednie parametry optyczne. W celu potwierdzenia tych parametrów, warunkiem koniecznym stało się opracowanie odpowiedniej metodyki badawczej oraz budowa stanowiska pomiarowego.

Po wzorcowaniu i akredytacji stanowiska przeprowadzono pomiary światłości 5 różnych typów sygnalizatorów zgodnie z wymaganiami normy PN-EN 54-23. Przeprowadzone badania potwierdziły, że wszystkie urządzenia, które nie zostały zaprojektowane z uwzględnieniem wymagań powyższej normy, nie spełniają najważniejszego parametru, jakim jest poziom jasności błysku. W grupie sygnalizatorów niespełniających wymagań normy PN-EN 54-23 [1] zmierzona światłość rzadko przekraczała wymagany poziom 1 cd. Otrzymane wyniki mieściły się w zakresie 30÷50% punktów pomiarowych powyżej 1 cd, zamiast wymaganych co najmniej 70%. Natomiast próby z sygnalizatorami zaprojektowanymi z uwzględnieniem wymagań normy dały wynik na poziomie 90÷100% punktów pomiarowych, co spełnia wymagany próg 70%.

Sygnalizatory optyczne są stosowane jako elementy systemów sygnalizacji pożarowej od wielu lat, jednak dopiero norma EN 54-23:2010 nie tylko zaostrzyła wymagania w zakresie ich funkcjonalności, ale także wprowadziła zupełnie nowe wymagania dla tego typu urządzeń, co pozwala we właściwy sposób informować o zagrożeniu także osoby głuche i niedosłyszące.

Artykuł ten pokazuje również, jakie trudności w produkcji sygnalizatora optycznego spełniającego rygorystyczne wymagania napotykają konstruktorzy oraz jak duże znaczenie dla ostatecznego odbiorcy ma laboratorium badające spełnienie wymagań, ponieważ tylko w oparciu o rzetelnie przeprowadzone badania możliwe jest wyeliminowanie z rynku urządzeń wadliwych oraz tych o niskich parametrach technicznych.

Literatura

[1] PN-EN 54-23: 2010 Systemy sygnalizacji pożarowej – Część 23: Pożarowe urządzenia alarmowe – Sygnalizatory optyczne.
[2] Schachter S., Holmes G., *Padaczka*, wyd. CZELEJ, 2009.
[3] Thurman D.J., Beghi E., Begley C.E., et al. *ILAE Commission on, Epidemiology. Standards for epidemiologic studies and surveillance of epilepsy*, „Epilepsia". 52 Suppl 7, s. 2–26, 2011. DOI: 10.1111/j.1528-1167.2011.03121.x. PMID: 21899536 (ang.).
[4] *Epilepsy*, World Health Organization, http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs999/en/ [dostęp: 24.01.2013].

* * *

mgr inż. Jarosław Borysewicz – absolwent Politechniki Warszawskiej. Starszy specjalista w Zespole Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej – BA w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie koło Otwocka. W CNBOP-PIB wypełnia zadania badawczo-techniczne oraz zajmuje się między innymi badaniami sygnalizatorów optycznych oraz akustycznych.

mgr inż. Łukasz Chołuj – od 2012 związany z CNBOP-PIB, jako pracownik Zespołu Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej. Autor publikacji oraz prelegent szkolenia dla inspektorów ochrony przeciwpożarowej. Specjalista w zakresie badania opraw oświetlenia awaryjnego oraz znaków bezpieczeństwa.

Paweł Stępień – związany z Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej jako pracownik Zespołu Laboratoriów Sygnalizacji Alarmu Pożaru i Automatyki Pożarniczej. Od 2009 roku pełni funkcję kierownika Zespołu Laboratoriów. W laboratorium zaangażowany w budowę nowych innowacyjnych stanowisk wykorzystywanych w procesie badań certyfikacyjnych. Specjalizacja w zakresie badań kompatybilności elektromagnetycznej oraz systemów zasilania.

© by Wydawnictwo CNBOP-PIB Please cite as: BiTP Vol. 44 Issue 4, 2016, pp. 165–175

DOI: 10.12845/bitp.44.4.2016.14

dr inż. **Natalia Schmidt-Polończyk**[1]

Przyjęty/Accepted/Принята: 11.10.2016;
Zrecenzowany/Reviewed/Рецензирована: 25.11.2016;
Opublikowany/Published/Опубликована: 30.12.2016;

Analiza wpływu gęstości rozmieszczenia wyjść ewakuacyjnych na bezpieczeństwo ludzi podczas pożaru w tunelach drogowych z systemem wentylacji wzdłużnej

An Analysis of the Location of Emergency Exits as a Factor Impacting on Human Safety under Fire Conditions in Road Tunnels with the Longitudinal Ventilation System

Анализ влияния частоты размещения аварийных выходов на безопасность людей во время пожара в дорожных туннелях с продольной системой вентиляции

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie rezultatów studium wybranych aktów prawnych na świecie w zakresie odległości pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi w tunelach drogowych oraz wyników weryfikacji wybranych obostrzeń na drodze badań modelowania numerycznego dla przyjętego scenariusza pożarowego.
Wprowadzenie: W artykule poruszono tematykę gęstości rozmieszczenia wyjść ewakuacyjnych, która znacząco wpływa na czas prowadzonych podczas pożaru w tunelu drogowym działań samoratowniczych, a co za tym idzie na bezpieczeństwo podczas ewakuacji. Rozmieszczenie wyjść ewakuacyjnych reguluje w Polsce 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 późn. zm.). Według przedmiotowego rozporządzenia odległość ta nie powinna przekraczać 500 m, co w świetle wybranych aktów legislacyjnych na świecie jest jednym z najmniej rygorystycznych wymagań. Odległość pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi zależy od wielu czynników, z których najważniejsze to: rodzaj pojazdów korzystających z tunelu, natężenie ruchu, wentylacja, moc pożaru, system wykrywania pożaru oraz parametry geometryczne tunelu. Rozbieżności w aktach prawnych stanowią podstawę do rozwijania podjętej tematyki badawczej.
Metodologia: W artykule przeprowadzono analizę wybranych aktów prawnych na świecie oraz badania modelowania numerycznego w celu sprawdzenia bezpieczeństwa podczas ewakuacji dla przyjętych wariantów wyjść ewakuacyjnych. Wyznaczono czas osiągnięcia krytycznego stanu środowiska w tunelu oraz sprawdzono, czy po jego upływie w tunelu znajdują się ludzie. W tym celu wykorzystano dwa narzędzia: program Fire Dynamic Symulator do oszacowania czasu osiągnięcia krytycznego stanu środowiska oraz program Pathfinder do wyznaczenia czasu ewakuacji.
Wnioski: Wyniki przeprowadzonej analizy numerycznej dowodzą, że nie jest możliwe zapewnienie bezpieczeństwa podczas działań samoratowniczych w tunelu drogowym o długości ≥ 1500 m, gdy nie ma w nim wyjść ewakuacyjnych lub gdy są rozmieszczone co 500 m. Dla rozważanego scenariusza pożarowego oraz przy założeniu, że czas detekcji i alarmu jest równy 120 s, odległość między wyjściami, przy której możliwe jest przeprowadzenie bezpiecznej ewakuacji z tunelu w przypadku pożaru wynosi 250 m. Ponadto określenie odległości między wyjściami ewakuacyjnymi w danym tunelu drogowym każdorazowo powinno być poprzedzone analizą ryzyka na etapie projektowym.

Słowa kluczowe: ewakuacja, wyjścia ewakuacyjne, bezpieczeństwo pożarowe, tunele drogowe
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

ABSTRACT

Objective: This study examines the results of studies of selected worldwide legal acts stipulating the distances between escape routes in road tunnels, as well as the results of the verification of selected legal restrictions resulting from numerical model simulations of hypothesised fire scenarios.
Introduction: The issues of the distances between escape routes' significantly affecting the timing of self-rescue activities during fires in road tunnels, and related safety matters during evacuation activities, are described in the present study. These distances are controlled in Poland by the Regulation of the Ministry of Transport, Construction and Maritime Economy of 30 May 2000 on the technical conditions of road engineering objects and their locations (Journal of Laws No. 63, item 735, as amended). According to the Regulation in question, the distance between escape routes should not exceed 500 m, which, in the light of worldwide legislative acts, is one of the least rigorous requirements. The distance between escape routes depends on numerous factors and the most important are: type of vehicles passing the tunnel, traffic congestion, ventilation, heat release rate, fire-detection system and geometrical parameters. The differences between the legal acts are the basis of the described research topic.

[1] AGH Akademia Górniczo-Hutnicza / AGH University of Science and Technology; nschmidt@agh.edu.pl;

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.14

Methodology: Analyses of selected worldwide legal acts and numerical modelling in order to check the safety conditions during evacuation were carried out for the adopted escape route variants. The time of the critical state reach in tunnels was determined and it was checked whether people were still present in tunnel after this time. Two types of tools were used: the Fire Dynamic Simulator program for assessing the time of reaching the critical environmental state, and the Pathfinder program for evacuation time calculation.
Conclusions: The results of the completed analyses proved that assuring safety during self-rescue activities road tunnels ≥ 1500 long without escape roads or with escape routes distanced every 500 m was not possible. For the considered fire scenario in question and assuming a detection time and alarm equal to 120 s, 250 m between escape routes is sufficient to guarantee safe evacuation from tunnels on fire. Furthermore, the calculation of the distance between escape routes for a given tunnel should be preceded by a risk analysis during the design stage.

Keywords: evacuation, escape routes, fire safety, road tunnels
Type of article: review article

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель данной статьи заключается в представлении результатов исследования отдельных правовых актов со всего мира с точки зрения расстояния между аварийными выходами в дорожных туннелях, а также результатов проверки некоторых обострений посредством численного моделирования для рассматриваемого сценария пожара.
Введение: В статье рассматривается вопрос о частоте распределении аварийных выходов, которая существенно влияет на время проводимых действий по самоспасению во время пожара в дорожном туннеле, и, следовательно, на безопасность эвакуации. Распределение аварийных выходов в Польше регулируется Распоряжением министра транспорта и морского хозяйства от 30 мая 2000 г. о технических условиях, которым должны соответствовать дорожные инженерные сооружения и их расположение (Законодательный вестник № 63 поз. 735 с изменениями).
Согласно данному распоряжению это расстояние не должно превышать 500 м, что по сравнению с некоторыми законодательными актами в мире является одним из наименее строгих требований. Расстояние между аварийными выходами зависит от многих факторов, важнейшие из которых это: тип транспортных средств, которые пользуются туннелем, интенсивность дорожного движения, вентиляция, мощность пожара, система обнаружения пожара и геометрические параметры туннеля. Различия в законодательстве являются основой для развития предмета исследования.
Методология: В данной работе был проведен анализ некоторых актов из разных стран мира, а также проведено исследование численного моделирования для определения безопасности во время эвакуации для принятых вариантов аварийных выходов. Было определено время достижения критического состояния окружающей среды в туннеле и проверено будут ли по истечении этого времени в туннеле находятся люди. Для этого были использованы два инструмента: программа Fire Dynamic Simulator для оценки времени достижения критического состояния окружающей среды, а также Pathfinder - программа для определения времени эвакуации.
Выводы: Результаты проведенного численного анализа показывают, что не возможно обеспечить безопасность во время проведения действий по самоспасению в дорожном туннеле длиной ≥ 1500 м, если в нем не находятся аварийные выходы или если выходы расположены через каждые 500 м. Для рассматриваемого сценария пожара и предполагая, что значение времени обнаружения и сигнализации равны 120 s, расстояние между выходами на уровне 250 м достаточно для обеспечения безопасной эвакуации из туннеля охваченного пожаром. Кроме того, определению расстояния аварийных выходов для автомобильного туннеля каждый раз должен предшествовать анализ рисков на стадии проектировки.

Ключевые слова: эвакуация, аварийные выходы, пожарная безопасность, дорожные туннели
Вид статьи: обзорная статья

1. Wprowadzenie

W przypadku pożaru w tunelu drogowym priorytetową kwestią jest ewakuacja osób zagrożonych w jak najkrótszym czasie. W celu zapewnienia bezpieczeństwa użytkowników tuneli drogowych zaleca się zastosowanie w tego typu budowlach dodatkowych środków technicznych w postaci wyjść ewakuacyjnych. Mogą one łączyć dwie nawy tunelu w przypadku jednokierunkowych tuneli dwunawowych lub stanowić połączenie tunelu dwukierunkowego (jednonawowego) z tunelem ewakuacyjnym prowadzącym na zewnątrz lub w inne bezpieczne miejsce (ryc. 1). Odległości pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi powinny umożliwiać przeprowadzenie bezpiecznych działań samoratowniczych w przypadku pojawienia się pożaru.

Proces ewakuacji osób z tunelu coraz częściej prognozowany jest przy wykorzystaniu obliczeń numerycznych, umożliwiających analizę różnych scenariuszy dla określonych założeń. W literaturze specjalistycznej odnaleźć można wiele prac poświęconych tej tematyce, m.in. pozycję [3], w której dokonano przeglądu wybranych metod symulacji ewakuacji z tuneli drogowych. Interesującą i bardzo przydatną przy wyborze programu do modelowania procesów ewakuacji jest praca [4], przedstawiająca doświadczenia osób prognozujących ewakuację przy wykorzystaniu różnych narzędzi symulacyjnych. Równie wartościową analizę, porównującą możliwości trzech programów: EVAC, STEPS oraz Pathfinder, służących do symulacji procesu ewakuacji przeprowadzono w [5]. Autorzy pracy wnikliwie scharakteryzowali badane

1. Introduction

In the event of fire in a road tunnel, the priority is to evacuate people in danger as quickly as possible. To guarantee the safety of road tunnel users, it is recommended to use in such structures additional technical measures in the form of emergency exits. These can connect two tubes in a tunnel in the case of unidirectional twin-tube tunnels or connect a bi-directional single-tube tunnel with an emergency tunnel leading outside or to another safe place (Fig. 1). The distance between emergency exits should facilitate safe-rescue operations in the event of fire.

The processes of evacuating people from tunnels are more and more often being forecast using numerical computations, which make it possible to analyse various scenarios corresponding to specific assumptions. In the specialist literature one can find many studies devoted to the issue in question, including [3], which reviews the selected methods of simulating evacuations from road tunnels. Study [4], presenting the experience of people forecasting evacuation activities using various simulation tools, is interesting and very useful for selecting a program for modelling the evacuation process. An equally valuable analysis was carried out in [5], that is comparing the capacities of three programs – EVAC, STEPS and Pathfinder used to simulate evacuation processes. The authors of this study characterised the studied programs in detail, taking into account any of their limitations which could impact on the obtained results. The impact of smoki-

Ryc. 1. Tunele drogowe z wyjściami ewakuacyjnymi: po lewej dwie nawy tunelu połączone wyjściami ewakuacyjnymi, po prawej główna nawa tunelu połączona wyjściami ewakuacyjnymi z tunelem ewakuacyjnym [1-2]
Fig. 1. Road tunnels with evacuation routes: left – two tunnel tubes connected to emergency exits, right – the main tunnel tube connected to evacuation routes with an evacuation tunnel [1-2]

programy, uwzględniając ich ograniczenia, które mogą mieć wpływ na otrzymane wyniki. Oddziaływanie zadymienia na prędkość poruszania się osób podczas ewakuacji w warunkach pożaru badano w [6]. Zbadano również wpływ znaków ewakuacyjnych na proces ewakuacji, a wyniki zawarto w [7]. Interesującym osiągnięciem w tematyce bezpieczeństwa podczas ewakuacji z tuneli drogowych w warunkach pożaru jest opracowanie i wdrożenie modułowego przejścia ewakuacyjnego, wyposażonego w dodatkowe systemy bezpieczeństwa m.in. w wentylację, system komunikacji, czujniki dymu. Wyniki tych badań zaprezentowano m.in. podczas II edycji polskiej konferencji „Budownictwo Podziemne i Bezpieczeństwo w Komunikacji Drogowej i Infrastrukturze Miejskiej" w roku 2014, organizowanej przez Akademię Górniczo-Hutniczą oraz zawarto w [1]. W pracy [8] przeanalizowano eksperymentalny przypadek ewakuacji z tunelu drogowego. Oddziaływanie pożaru na zachowanie osób podejmujących działania samoratownicze w tunelu, przy wykorzystaniu symulatora FDS+EVAC badano w [9], [10]. Analizę możliwości symulatora E-SIM przeznaczonego do modelowania ewakuacji przeprowadzono w [11]. Badania nad nowym symulatorem TUNNEL-EVAC, przeznaczonym do modelowania procesów ewakuacji, którego prototyp został już opracowany podjęło grono naukowców z AGH. Postępy prac przedstawiono m.in. w: [12], [13].

W niniejszym artykule przedstawiono rezultaty analiz wymagań prawnych oraz zaleceń projektowych obowiązujących w Polsce oraz w wybranych krajach i regionach świata w zakresie odległości pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi w tunelach drogowych oraz wyniki własnych badań modelowych.

2. Zastosowanie wyjść ewakuacyjnych w tunelach drogowych w świetle polskich i zagranicznych wymagań prawnych

Zgodnie z wytycznymi Dyrektywy 2004/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. w sprawie minimalnych wymagań bezpieczeństwa dla tuneli w transeuropejskiej sieci drogowej, stosowanie wyjść ewakuacyjnych ma miejsce wtedy, gdy:

- „analiza odpowiednich ryzyk, obejmująca zagadnienie jak daleko i jak szybko przemieszcza się dym w warunkach miejscowych pokazuje, że wentylacja i inne zabezpieczenia są niewystarczające dla zapewnienia bezpieczeństwa użytkownikom dróg",
- „…w nowych tunelach…, jeżeli natężenie ruchu jest większe niż 2 000 pojazdów na jeden pas ruchu".

Ponadto w istniejących tunelach, dłuższych niż 1000 metrów, o natężeniu ruchu większym niż 2000 pojazdów na jeden pas ruchu, poddawana jest ocenie wykonalność i skuteczność nowych wyjść awaryjnych [14].

ness on the movement speed of people during evacuation under fire conditions was studied in [6]. Also analysed was the influence of evacuation signs on the evacuation process. The results of the analysis are presented in article [7]. An interesting achievement in the field of safety during the evacuation of road tunnels under fire conditions is the preparation and implementation of modular emergency passages, equipped with additional safety systems, including ventilation and communication systems and smoke detectors. The results of these studies were presented at the 2nd Polish "Underground Construction and Safety in Road Transport and City Infrastructure" Conference in 2014, organised by the AGH University of Science and Technology, and included in article [1]. The study [8] analyses one experimental case of evacuation from a road tunnel. The impact of a fire on the behaviour of people carrying out safe-rescue activities inside a tunnel was researched in [9], [10] using the FDS+EVAC simulator. The capacity of the E-SIM simulator for the modelling of evacuations was fully used in [11]. Research into a new TUNNEL-EVAC simulator for the modelling of evacuation processes, whose prototype had been already created, was undertaken by a group of scientists from the AGH University of Science and Technology. The working progress is presented in articles [12] and [13], among others.

This paper presents the results of analyses of the legal requirements and design guidelines in force in Poland, and selected countries and territories, in respect of distances between emergency exits in road tunnels, as well as the results of own model tests.

2. The use of emergency exits in road tunnels in the light of Polish and foreign legal requirements

In line with the guidelines of Directive 2004/54/CE of the European Parliament and of the Council of 29 April 2004 on minimum safety requirements for tunnels in the Trans-European Road Network,

- "emergency exits shall be provided if an analysis of relevant risks, including how far and how quickly smoke travels under local conditions, shows that the ventilation and other safety provisions are insufficient to ensure the safety of road users", and
- "In any event, in new tunnels, (...) where the traffic volume is higher than 2 000 vehicles per lane".

Furthermore, in existing tunnels longer than 1 000 m, with a traffic volume higher than 2 000 vehicles per lane, the feasibility and effectiveness of the implementation of new emergency exits shall be evaluated [14].

When it comes to the distance between emergency exits, the requirements of Directive 2004/54/CE of the European

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.14

W kwestii odległości wyjść ewakuacyjnych wymagania Dyrektywy 2004/54/WE Parlamentu Europejskiego i Rady pokrywają się z polskimi wymaganiami prawnymi zawartymi w Rozporządzeniu Ministra Transportu i Gospodarki Morskiej z dnia 30 maja 2000 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać drogowe obiekty inżynierskie i ich usytuowanie [15]. Odległość ta nie powinna przekraczać 500 m [14-15]. Z kolei według niemieckich wytycznych projektowych [16] w tunelach o długości powyżej 400 m przejścia te „należy zaprojektować w regularnych odstępach, mniejszych niż 300 m". Dla szerszego ujęcia tematu w tabeli 1 zestawiono regulacje wybranych aktów prawnych oraz wytycznych projektowych na świecie w omawianym zakresie.

Na podstawie zebranych danych można stwierdzić, iż wymagania prawne obowiązujące w Polsce są najmniej restrykcyjne i pokrywają się z wymaganiami Dyrektywy Europejskiej, która precyzuje minimalne wymagania dotyczące bezpieczeństwa, które każdy europejski kraj, w obrębie własnego terytorium może zaostrzyć. Mogą zatem istnieć różne poziomy bezpieczeństwa w tunelach drogowych wynikające z rozbieżności w odległościach pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi. Różnica ta stanowi pewną podstawę do prowadzenia weryfikacji aktualnie obowiązujących wymagań prawnych dotyczących odległości pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi, co w efekcie powinno skutkować opracowaniem racjonalnego, ujednoliconego rozwiązania w tym zakresie.

3. Badania wpływu zastosowania i odległości wyjść ewakuacyjnych na bezpieczeństwo użytkowników tunelu drogowego

Odległość wyjść ewakuacyjnych zależy m.in. od [17]:

- rodzaju pojazdów korzystających z tunelu, co dyktuje rodzaj prawdopodobnych zdarzeń,
- natężenia ruchu, a co za tym idzie liczby użytkowników w tunelu korzystających z wyjść w przypadku np. pożaru,
- wydajności systemu wentylacji – zapewnienia odpowiednich warunków podczas ewakuacji w tunelu,
- systemu detekcji i alarmu pożaru,
- parametrów geometrycznych tunelu, w tym nachylenia tunelu,
- zachowania ludzkiego.

Parliament and of the Council are compatible with Polish legal requirements included in the Regulation of the Minister of Transport and Maritime Economy of 30 May 2000 on the technical conditions to be met by road engineering structures and their location (Journal of Laws No. 63, 2000). The distance should not exceed 500 m [14-15]. In turn, according to German design guidelines [16], in tunnels longer than 400 m, such exits "should be designed at regular intervals of less than 300 m". To present a broader picture, Table 1 presents the regulations of selected legal acts and design guidelines worldwide in the field in question.

Based on the collected data one can state that the legal requirements in force in Poland are the least rigorous and correspond to the requirements of the European Directive, which specifies the minimum safety requirements, which every European country can make more exacting within its territory. Road tunnels can therefore have varying safety levels, stemming from differences in distances between emergency exits. Such differences constitute a basis for verifying the legal requirements currently in force and concerning distances between emergency exits, which, in turn, should result in devising a rational and standardised solution in this regard.

3. Studies of the influence of the use of, and distance between, emergency exits on the safety of road tunnel users

The distance between emergency exits depends, among other things, on [17]:

- the type of vehicles using the tunnel, which dictates the type of possible events,
- traffic volume, and the number of users in the tunnel, using its exits in the event of, e.g., a fire,
- the capacity of the ventilation system – providing the appropriate conditions during tunnel evacuation,
- fire detection and alarm systems,
- the geometrical parameters of the tunnel, including tunnel slope,
- human behaviour.

The heat release rate is a very important parameter im-

Tabela 1. Zalecenia/obostrzenia w zakresie odległości pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi według wybranych dokumentów prawnych oraz wytycznych projektowych [1], [14–26]
Table 1. Recommendations/restrictions concerning the distance between emergency exits, according to selected legal acts and design guidelines [1], [14–26]

Kraje (których dotyczy dokument) Countries	Wymagana odległość pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi [m] Required distance between emergency exits [m]
Międzynarodowy / International	100-500
Unia Europejska / The European Union	≤ 500
Austria	≤ 500
Polska / Poland	≤ 500
Niemcy / Germany	< 300
Włochy / Italy	≤ 300
Francja / France	≤ 400
Wielka Brytania / The United Kingdom	≤ 100
Norwegia / Norway	≤ 250
Holandia / The Netherlands	oparta na analizie ryzyka / based on risk analysis
Szwajcaria / Switzerland	≤ 300
USA	200
Australia	≤ 120

Bardzo istotnym parametrem wpływającym na rozmieszczenie wyjść ewakuacyjnych w tunelach drogowych, a wynikającym bezpośrednio z pierwszego wymienionego powyżej czynnika, jest moc pożaru. Właściwe określenie mocy pożaru wymaga szczególnego podkreślenia, co wynika również z Dyrektywy [14], uzależniającej rozmieszczenie wyjść od tego „… jak daleko i jak szybko przemieszcza się dym w warunkach miejscowych…".

Na świecie istnieją tunele drogowe, które nie posiadają wyjść ewakuacyjnych np. tunel Leardal w Norwegii (24 510 m), tunel Piumogna w Szwajcarii (1600 m), tunel Sóller w Hiszpanii (3000 m), tunel Waasland w Belgii (2100 m) i wiele innych [27]. Powodem takiego stanu rzeczy może być fakt, że większość z tych tuneli powstała ponad 16 lat temu. W związku z tym w niniejszej analizie oprócz różnicowania rozstawu wyjść awaryjnych uwzględniono przypadek tunelu bez wyjść ewakuacyjnych. Przyjęto następujące warianty tuneli:

- wariant I – tunel bez wyjść ewakuacyjnych (brak drugiej nawy lub tunelu ewakuacyjnego – wyjście z tunelu możliwie jedynie przez portale),
- wariant II – tunel z wyjściami ewakuacyjnymi, rozmieszczonymi co 500 m,
- wariant III – tunel z wyjściami ewakuacyjnymi, rozmieszczonymi co 250 m.

Ponadto dla wariantu III tunelu rozważano:

a) pożar zlokalizowany przy lewym portalu tunelu pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi prowadzącymi do tunelu ewakuacyjnego – ryc. 2a),

b) pożar przy jednym z wyjść ewakuacyjnych – ryc. 2b).

W scenariuszu pożarowym lokalizację źródła pożaru założono na 250 metrze, licząc od portalu lewego tunelu dwukierunkowego, co dla wariantu III spowoduje zablokowanie pierwszego wyjścia ewakuacyjnego.

Dla przyjętych wariantów odległości pomiędzy wyjściami awaryjnymi sprawdzano bezpieczeństwo podczas ewakuacji, wyznaczając czas osiągnięcia krytycznego stanu środowiska w tunelu oraz całkowity czas ewakuacji. Krytyczny stan środowiska zależy od wartości parametrów, takich jak: temperatura powietrza, gęstość strumienia promieniowania cieplnego, temperatura gorących gazów pożarowych, zasięg widzialności oraz zawartość tlenu. Przekroczenie dopuszczalnych wartości tych parametrów [28-29] może powodować zagrożenie utraty zdrowia lub życia osób ewakuujących się. Sytuacja, gdy w momencie pojawienia się krytycznych warunków środowiska w tunelu drogowym nadal przebywa pewna liczba osób, która do tego czasu nie zdążyła przemieścić się w bezpieczne miejsce oznacza m.in., że wskutek braku wyjść ewakuacyjnych lub zbyt dużej odległości pomiędzy nimi bezpieczna ewakuacja w tym obiekcie nie jest zapewniona.

Realizację celu badawczego przeprowadzono z wykorzystaniem dwóch narzędzi: Fire Dynamic Symulator do wyznaczenia czasu osiągnięcia krytycznych warunków w tunelu oraz program Pathfinder, za pomocą którego wyznaczono całkowity czas ewakuacji.

pacting on the positioning of emergency exits in road tunnels, and resulting directly from the first aforementioned factor. The correct specification of the heat release rate should be especially highlighted, which is also based on Directive [14], which makes the location of emergency exits dependent on "(...) how far and how quickly smoke travels under local conditions (...)".

There are tunnels worldwide without emergency exits, e.g. the Lærdal Tunnel in Norway (24 510 m), the Piumogna Tunnel in Switzerland (1600 m), the Sóller Tunnel in Spain (3000 m), and the Waasland Tunnel in Belgium (2100 m), etc. [27]. It might be the case that most of these tunnels were created more than 16 years ago. Therefore, in this analysis, in addition to differentiating the distances between emergency exits, we also took into account the incidence of tunnels without such exits. The following variants of tunnels were adopted:

- variant I – tunnels without emergency exits (no second tube or an emergency tunnel – exiting the tunnel is possible only through portals),
- variant II – tunnels with emergency exits provided every 500 m,
- variant III – tunnels with emergency exits provided every 250 m.

Furthermore, for variant III, the following was considered:

a) a fire located near the left portal, between emergency exits leading to an emergency tunnel – Fig. 2a),

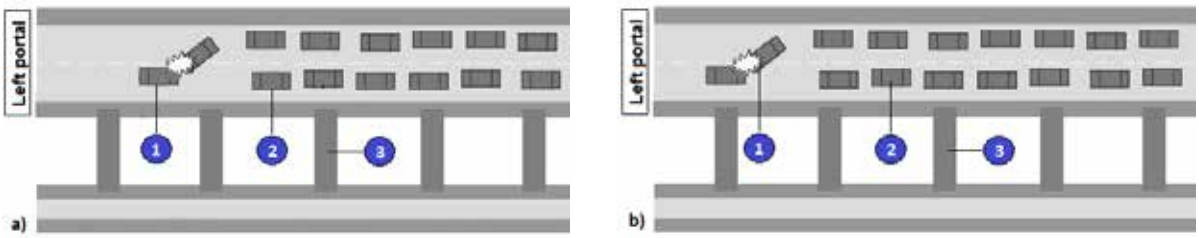
b) a fire located near one of the emergency exits – Fig. 2b).

In a fire scenario, the fire source location was set at 250 metres, starting from the left portal of bi-directional tunnels, which, in the case of variant III, will block the first emergency exit.

Evacuation safety was evaluated for adopted variants of distance between emergency exits, by determining the time needed for the tunnel environment's reaching critical state and total evacuation time. The critical state of the environment depends on the value of the following parameters: air temperature, heat flux density, temperature of hot fire gases, visibility, and oxygen content. Exceeding the allowable values of these parameters [28-29] can put at risk the health and lives of people being evacuated. The situation in which critical environmental conditions occur when there are still some people left in the road tunnel who have not managed to move to a safe location means that due to the lack of emergency exits or a too large distance between then, safe evacuation in such a facility is not ensured.

The research objective was achieved using two tools: the Fire Dynamic Simulator to determine the time to reach critical conditions within the tunnel, and Pathfinder, used to determine total evacuation time.

The way the simulations were conducted, the justification



Ryc. 2. Lokalizacja pożaru: a) pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi, b) przy wyjściu ewakuacyjnym; (1) lokalizacja pożaru, (2) pojazdy w tunelu, (3) wyjścia ewakuacyjne
Fig. 2. Fire location a) between emergency exits b) at an emergency exit fire location, (2) vehicles in the tunnel, (3) emergency exits
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.14

Sposób prowadzenia symulacji, uzasadnienie wyboru programów oraz ich charakterystykę przedstawiono w [30]. Badania przeprowadzono dla pięciu długości tunelu: 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m, 3500 m dla warunków pożaru o strumieniu wyzwalanego ciepła – 30 MW. Warunki początkowo-brzegowe do analizy numerycznej, rozwój pożaru, parametry określające proces spalania pojazdu ciężarowego przyjęto analogicznie jak w pracy [30].

W tunelu przewidziano system wentylacji mechanicznej wzdłużnej, w którym powietrze płynie od portalu lewego, wzdłuż osi obiektu do portalu prawego. W rozważanym tunelu dwukierunkowym po obu stronach pożaru mogą znajdować się samochody, które nie będą w stanie opuścić obiektu – ryc. 3. Sytuacja ta stwarza zagrożenie dla użytkowników znajdujących się w zadymionej części tunelu.

System wentylacji wzdłużnej został zaprojektowany dla warunków pożaru zgodnie z procedurą obliczeniową zawartą w [31]. W scenariuszu uruchomienia wentylatorów strumieniowych uwzględniono utrzymanie zjawiska stratyfikacji gazów i dymów pożarowych, co korzystnie wpłynie na bezpieczeństwo podczas ewakuacji w początkowej fazie pożaru.

W artykule określenie natężenia ruchu oraz prędkości poruszających się pojazdów jest istotne ze względu na ustalenie liczby osób podejmujących ewakuację z tunelu objętego pożarem. Na etapie opracowania założeń technicznych dla projektu tunelu natężenie ruchu w tunelach określane jest na podstawie przeprowadzonej prognozy ruchu. W analizowanym przypadku założono ruch pojazdów osobowych, ciężarowych i autokarów z zakazem wjazdu pojazdów przewożących materiały niebezpieczne. Określenie liczby użytkowników tunelu drogowego przeprowadzono zakładając m.in. procentowy skład ruchu:

- udział procentowy samochodów osobowych – 90%,
- udział procentowy pojazdów ciężarowych – 9%,
- udział procentowy autobusów – 1%.

Liczbę osób podejmujących ewakuację oszacowano dla zatoru. Dla tunelu o długości 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m oraz 3500 m wynosiła ona odpowiednio 620 os., 827 os., 1034 os., 1241 os. i 1448 os.

Określenie czasu ewakuacji wymagało przypisania każdej ewakuującej się osobie zestawu indywidualnych parametrów, z których najważniejszymi są: prędkość poruszania się, szerokość ramion oraz czas opóźnienia. Ponadto w oszacowaniu całkowitego czasu ewakuacji należało uwzględnić czas detekcji pożaru, alarmu oraz czas opóźnienia (czas rozpoznania alarmu i czas reakcji) użytkowników tunelu. Niniejsza analiza

for program selection, and their characteristics, are presented in [30]. The studies were carried out for five tunnel lengths: 1500 m, 2000 m, 2500 m, 3000 m and 3500 m for fire conditions with an emitted heat stream of 30 MW. The initial-boundary conditions for numerical analysis, the fire development, and the parameters determining the burning process in a heavy goods vehicle, were corresponding to those in study [30].

A longitudinal mechanical ventilation system, with air flowing from the left portal, along the axis of the facility to the right portal, was provided in the tunnel. In the bi-directional tunnel in question, cars might be located on both sides of the fire, and will not be able to leave the structure – Fig. 3. This situation poses danger for users located in the smoke-filled part of the tunnel.

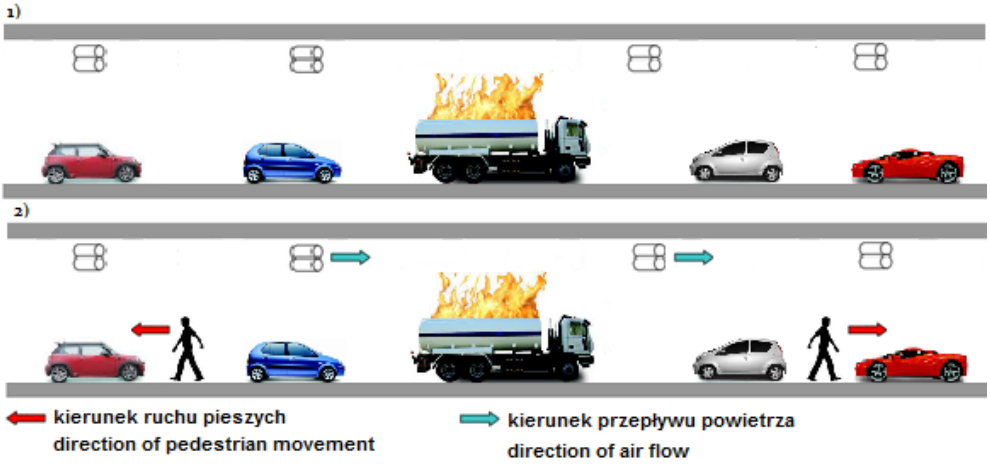
The longitudinal ventilation system was designed to operate in fire conditions in line with the computational procedure presented in [31]. The scenario of jet fan activation takes into account the maintenance of a gas and the fire smoke stratification phenomenon, which will have a positive impact on safety during evacuation in the initial phase of fire.

In the article, the determination of traffic volume and the speed of vehicles is important in terms of determining the number of people evacuating themselves from a tunnel covered in fire. At the stage of developing technical guidelines for tunnel design, traffic volume in tunnels is determined on the basis of traffic forecasts. In the analysed case, it was assumed that the traffic would consist of passenger car, heavy goods vehicles and buses, with vehicles transporting dangerous goods' being banned from entering the tunnel. The number of road tunnel users was determined using the percentage composition of traffic:

- the percentage of passenger cars – 90%,
- the percentage of heavy goods vehicles – 9%,
- the percentage of buses – 1%.

The number of people being evacuated was estimated for congestion, which was for the following tunnel lengths: 1500 m – 620 people, 2000 m – 827 people, 2500 m – 1034 people, 3000 m – 1241 people, 3500 m – 1448 people.

Determining the evacuation time required for attributing a set of individual parameters, the most important being, speed, shoulder width and delay time, to every "evacuating" person. Furthermore, to estimate total evacuation time, one has to take into account fire detection time, alarm time and delay time (between recognising the alarm and reacting) in



Ryc. 3. Pożar pojazdu ciężarowego w tunelu dwukierunkowym: 1) wybuch pożaru, 2) faza ewakuacji
Fig. 3. Fires in heavy goods vehicles in bi-directional tunnels: 1) fire start, 2) evacuation phase
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

zakłada, że wykrycie pożaru przez systemy detekcji nastąpi po 120 s od momentu pojawienia się pożaru, co przyjęto na podstawie [32]. Czas opóźnienia, jak i dobór indywidualnych parametrów osób ewakuujących się oparto o wyniki badań eksperymentalnych [11], a ich dobór został przedstawiony w artykule [30]. W analizie przyjęto brak wzdłużnego nachylenia tunelu drogowego oraz nie uwzględniono komponentu niekontrolowanych i gwałtownych zakłóceń w ruchu strumieni ludzkich wynikających np. z paniki.

Czasy ewakuacji, będące wynikiem obliczeń programu Pathfinder, mogą różnić się od siebie w ramach jednego, tego samego przypadku. Różnica ta wynika głównie z losowego rozmieszczenia użytkowników w modelu geometrycznym. Stąd by otrzymać wartość reprezentatywną czasu ewakuacji, symulacje należało powtórzyć kilkukrotnie dla każdego wariantu. W celu oszacowania wystarczającej liczby prób przeprowadzono serię 30 symulacji dla wariantu I, II i III, dla długości 1500 m. Z uzyskanych rezultatów obliczono średnie wartości czasu ewakuacji dla 5 i 10 prób. Ze średnich z kolei obliczono odchylenia standardowe, na podstawie których przyjęto wystarczającą liczbę symulacji dla danego przypadku. Przeprowadzona analiza miała na celu sprawdzenie zmienności otrzymanych wyników. Na jej podstawie przyjęto, że dla tuneli dwukierunkowych z wyjściami ewakuacyjnymi wystarczającą liczbą prób symulacji jest wartość 5, na podstawie niewielkich różnic w odchyleniach standardowych dla 5 i 10 prób. Z kolei dla przypadku bez wyjść ewakuacyjnych symulacje w liczbie 5 prób mogą dawać niereprezentatywne rezultaty, na co wskazuje znacznie większa wartość odchylenia standardowego dla średnich wartości czasów ewakuacji w porównaniu z odchyleniem dla średniej wartości z 10 prób. Dlatego za liczbę wymaganych prób symulacji dla wariantu bez wyjść przyjęto wartość 10.

4. Analiza wyników badań numerycznych

Dla przyjętego scenariusza pożarowego rozwiązanie bez wyjść ewakuacyjnych oraz z wyjściami o odległości równej maksymalnej, dopuszczalnej odległości według [15] spowoduje, że w momencie pojawienia się krytycznych warunków środowiska w tunelu drogowym będzie przebywać pewna liczba osób narażona na utratę zdrowia lub życia – tabela 2. Odległość co 250 m pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi (optymalna długość drogi ewakuacyjnej) umożliwia bezpieczną ewakuację, zakładając, że czas detekcji nie będzie dłuższy niż 120 s – tabela 2.

Czas pojawienia się w tunelu krytycznego stanu środowiska został określony na podstawie pierwszego przekroczenia dopuszczalnej wartości parametru widzialności – tabela 2. Wyniki obliczeń numerycznych pozwoliły na oszacowanie zależności pomiędzy czasem ewakuacji, odległością wyjść ewakuacyjnych oraz długością tunelu – ryc. 4. W tym celu wykorzystano model regresji, określający zależność między zmienną niezależną a zmienną zależną. Obliczenia przeprowadzono przy użyciu programu Statystyka 10, wykorzystując metodę najmniejszych kwadratów [33]. Teoretyczne wartości czasu ewakuacji zostały wyznaczone z równania płaszczyzny, w oparciu o wyniki przeprowadzonych w pracy badań numerycznych. W celu dokonania wyboru modelu, który cechował się największym dopasowaniem do danych empirycznych, użyto podstawowej miary dopasowania modelu regresji – współczynnika determinacji R^2, który w przyjętym w pracy modelu wyniósł 0,95.

Na podstawie wyników badań oraz przy wykorzystaniu narzędzi statystycznych czas ewakuacji, będący funkcją odległości wyjść ewakuacyjnych oraz długości tunelu dwukierunkowego, opisano równaniem płaszczyzny:

$$T_1 = 0{,}00429 \cdot L + 0{,}22576 \cdot w + 290{,}755$$

tunnel users. This analysis assumes that the fire will be discovered by detection systems after 120 s of the outbreak of fire, based on [32]. Delay time and the selection of individual parameters of evacuating people are based on the results of experimental studies [11], and their selection is presented in article [30]. The analysis assumes no longitudinal slope of the road tunnel and does not take into account uncontrolled or violent disruptions in human movement resulting from, e.g., panic.

Evacuation times, resulting from computations made in the Pathfinder program, can vary within one and the same case. Such differences result mainly from the users' being distributed randomly in the geometrical model. Thus, to obtain a representative value of evacuation time, simulations had to be repeated several times for every variant. To estimate the required number of samples, a series of 30 simulations for variants 1, 2 and 3 for a length of 1500 m, was carried out. Average values of evacuation time for 5 and 10 samples were calculated using the obtained results. Using the average values, standard deviation was calculated, based on which the required number of simulations for given cases was adopted. The conducted analysis aimed at evaluating the variability of the obtained results. Based on this, it was assumed that for bi-directional tunnels with emergency exits, the required number of simulation samples was 5. This was based on small differences in standard deviation between 5 and 10 samples. In turn, for the cases without emergency exits, simulations with 5 samples can yield unrepresentative results, which is indicated by a much higher standard deviation for average evacuation time, compared with deviation for the average value from 10 samples. Therefore, the number of required simulation samples for variants without exits was set at 10.

4. The analysis of numerical study results

For the adopted fire scenario, a solution without emergency exits and with such exits located at intervals equal to the maximum allowable distance, according to [15], will result in some people located inside the road tunnel being at risk of losing their lives or health (Table 2) when critical environmental conditions occur. Providing emergency exits at intervals of 250 m (the optimal escape route length) will ensure the safety of evacuating – people, providing the detection time does not exceed 120 s (Table 2).

The time of critical environmental conditions occurring in the tunnel was set based on the visibility parameter's being exceeded for the first time – Table 2. The results of numerical computation made it possible to estimate the interrelation between evacuation time, distance between emergency exits and tunnel length – Fig. 4. A regression model was used for this purpose, determining the interrelation between independent and dependent variables. The calculations were conducted using the Statistica 10 program, utilising the least squares method [33]. The theoretical values of evacuation time were determined using the equation of a plane, based on the results of numerical studies carried out as part of this study. To select a model which best fitted the empirical data, the basic measure of the goodness of fit for the regression model – the R^2 coefficient of determination – was used, equalling 0.95 in the adopted model.

On the basis of the study results and using statistical tools, evacuation time, which is a function of distance between emergency exits and bi-directional tunnel length, was described with the equation of a plane:

$$T_1 = 0{,}00429 \cdot L + 0{,}22576 \cdot w + 290{,}755$$

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.14

gdzie:
T_1 – czas ewakuacji wyznaczony z równania płaszczyzny [s],
L – długość tunelu drogowego [m],
w – odległość pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi [m].

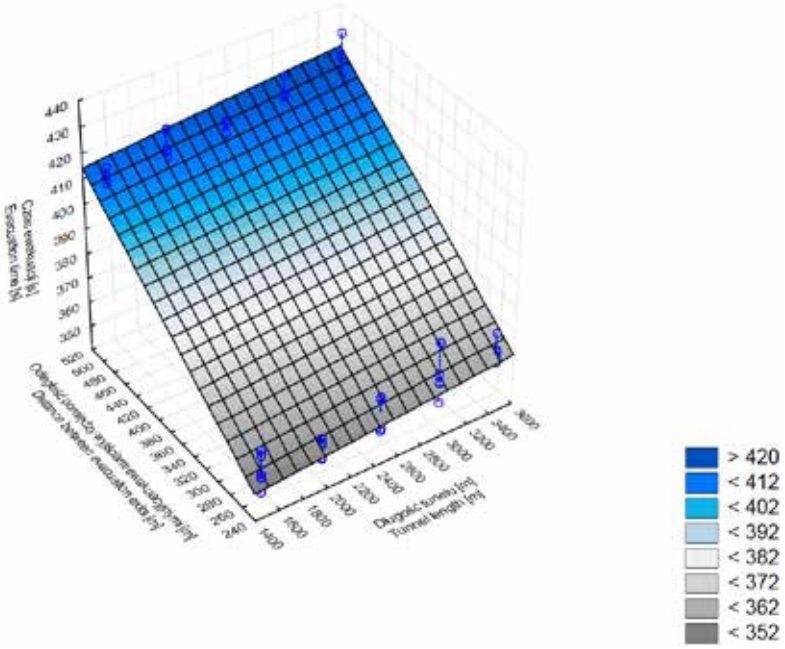
Dokładność obliczeń czasu ewakuacji T_1 w odniesieniu do wyników badania numerycznego T określono poprzez wyznaczenie błędu względnego, którego wartość dla analizowanych przypadków mieści się w przedziale 0,06-0,67%.

Niewielka wartość błędu względnego oraz wartość współczynnika determinacji bliska 1 potwierdza bardzo dobre dopasowanie modelu regresji do wyników modelowania numerycznego. Dopasowanie to pozwala na oszacowanie przy wykorzystaniu równania płaszczyzny maksymalnych, możliwych odległości wyjść ewakuacyjnych dla analizowanych przypadków, których wyniki przestawiono na ryc. 5.

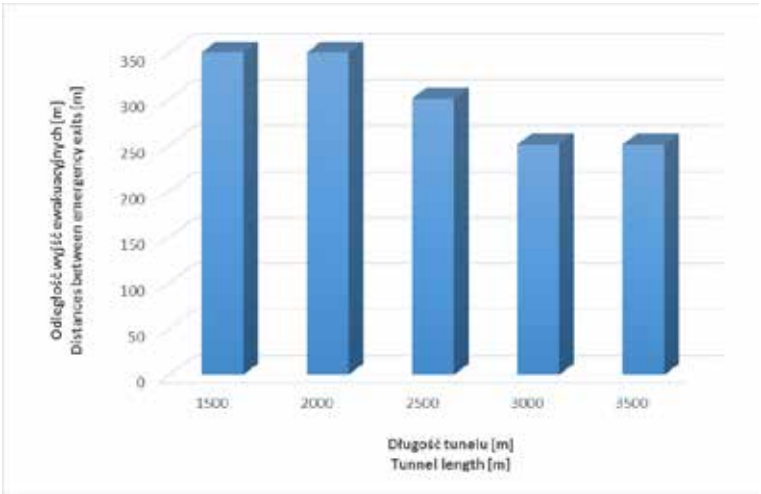
where:
T_1 – evacuation time determined using the equation of a plane [s],
L – road tunnel length [m],
w – distance between emergency exits [m].

The accuracy of the evacuation time T_1 calculation, in respect of numerical study T, was determined by setting the relative error, which value for the analysed cases lay between 0.06 and 0.67%.

The low value of the relative error and coefficient of determination's being close to 1 confirm a very good fit of the regression model to the results of the numerical modelling. This fit makes it possible to estimate, using the equation of a plane, the maximum possible distances between emergency exits for the analysed cases, whose results are presented in Fig. 5.



Ryc. 4. Graficzna zależność czasu ewakuacji od odległości wyjść ewakuacyjnych i długości tunelu
Fig. 4. A graphical representation of the dependence of evacuation time on the distance between evacuation exits and tunnel length
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Ryc. 5. Maksymalne bezpieczne odległości wyjść ewakuacyjnych wyznaczone z równania płaszczyzny dla analizowanych długości tunelu drogowego
Fig. 5. Maximum safe distances between emergency exits determined using the equation of a plane, for the analysed road tunnel lengths
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Wyniki badań numerycznych dla danego scenariusza i założeń wskazują odległość 250 m pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi jako wystarczającą dla zapewnienia bezpiecznych działań samoratowniczych podczas pożaru dla wszystkich analizowanych długości tuneli drogowych z wentylacją wzdłużną. Dla każdego przypadku możliwe jest precyzyjne określenie rozstawu wyjść zapewniającego z jednej strony bezpieczeństwo osób podczas ewakuacji, a z drugiej stanowiącego racjonalne ekonomicznie rozwiązanie. Dla przypadków analogicznych do przedstawionych można posiłkować się opracowaną na podstawie badań numerycznych zależnością zilustrowaną na ryc. 5. Należy jednak pamiętać, że określenie odległości pomiędzy wyjściami w tunelach drogowych jest kwestią indywidualną i każdorazowo powinno być poprzedzone analizą ryzyka na etapie projektowym.

The results of numerical studies for the hypothesised scenario and the assumptions made indicate a distance of 250 m between emergency exits as sufficient to ensure safe self-rescue activities during a fire for all the analysed lengths of road tunnels with longitudinal ventilation. It is possible to precisely determine the distances of exits for every case which facilitates the safety of people during evacuation and is an economically viable solution. For cases similar to those analysed in this article, one can use the interrelation devised based on numerical studies and illustrated in Fig. 5. One should bear in mind, however, that the determination of distances between exits in road tunnels is an individual issue and should be each time preceded by a risk analysis at the design stage.

Tabela 2. Wyniki badań numerycznych dotyczące: czasu pojawienia się w tunelu krytycznych warunków środowiskowych oraz czasu ewakuacji w zależności od długości tunelu, czasu detekcji i alarmu pożaru , odległości między wyjściami ewakuacyjnymi lub braku wyjść ewakuacyjnych, liczby osób zagrożonych oraz wyewakuowanych
Table 2. The results of numerical examinations of the time when critical environmental conditions appear in the tunnel and evacuation time depending on tunnel length, fire detection time and fire alarm time, as well as on the distance between emergency exits and the number of people exposed to risk, and evacuated persons

Tunel dwukierunkowy o mocy pożaru 30 MW / Bidirectional tunnel with 30 MW of heat release rate		**Czas pojawienia się krytycznych warunków w tunelu [s] / Time when critical environmental conditions appear in the tunnel [s]**	**Czas ewakuacji [s] dla czasu detekcji i alarmu = 120 s / Evacuation time [s] for detection and alarm time = 120 s**	**Liczba osób wyewakuowanych / Evacuated persons**	**Liczba osób zagrożonych / Persons exposed to risk**
Długość / Length	**Wyjścia ewakuacyjne / Emergency exits**				
1500 m	Bez wyjść ewak. No emergency exits	378	1278	179	441
	Wyjścia co 500 m Exits every 500 m		411	605	15
	Wyjścia co 250 m Exits every 250 m		356	620	0
2000 m	Bez wyjść ewak. No emergency exits	380	1742	172	655
	Wyjścia co 500 m Exits every 500 m		413	804	23
	Wyjścia co 250 m Exits every 250 m		354	827	0
2500 m	Bez wyjść ewak. No emergency exits	379	2221	224	810
	Wyjścia co 500 m Exits every 500 m		412	1000	34
	Wyjścia co 250 m Exits every 250 m		356	1034	0
3000 m	Bez wyjść ewak. No emergency exits	368	2685	203	1038
	Wyjścia co 500 m Exits every 500 m		415	1170	71
	Wyjścia co 250 m Exits every 250 m		362	1241	0
3500 m	Bez wyjść ewak. No emergency exits	366	3125	192	1256
	Wyjścia co 500 m Exits every 500 m		421	1349	99
	Wyjścia co 250 m Exits every 250 m		362	1448	0

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

DOI:10.12845/bitp.44.4.2016.14

5. Podsumowanie

Na podstawie analizy polskich i zagranicznych aktów prawnych oraz wytycznych projektowych zidentyfikowano różnice w zakresie odległości wyjść ewakuacyjnych w tunelach drogowych. Polskie obostrzenia [15] w analizowanej tematyce należą do najmniej restrykcyjnych spośród rozważanych. Przedstawione zagadnienie jest szczególnie ważne ze względu na bezpieczeństwo działań samoratowniczych w warunkach pożaru, ponieważ odległości wyjść ewakuacyjnych wpływają na czas ewakuacji.

W podjętych badaniach modelowania numerycznego przeanalizowano wariant, gdzie odległość pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi jest równa maksymalnej dopuszczalnej odległości wynikającej z polskich przepisów [15], czyli wartości 500 m. Ponadto badano przypadki bez wyjść ewakuacyjnych oraz z wyjściami rozmieszczonymi co 250 m.

W oparciu o informacje przedstawione w artykule można wyciągnąć następujące wnioski:

1. Niezbędne środki techniczne pozwalające utrzymać wymagany poziom bezpieczeństwa podczas ewakuacji z tunelu drogowego z systemem wentylacji wzdłużnej w warunkach pożaru to poprzeczne wyjścia ewakuacyjne. Odległość pomiędzy nimi uzależniona jest m.in. od prognozowanej mocy pożaru, natężenia ruchu w tunelu, wentylacji, czasu wykrycia pożaru i innych czynników.
2. W tunelach drogowych o długości ≥ 1500 m bez wyjść ewakuacyjnych oraz z wyjściami rozmieszczonymi co 500 m dla zjawisk o charakterze dynamicznym – zależnych od czasu rozwoju pożaru, o strumieniu wyzwalanego ciepła równym 30 MW i zakładanym czasie wykrycia pożaru 120 s – bezpieczeństwo podczas ewakuacji nie zostanie zapewnione.
3. Dla rozważanego scenariusza pożarowego wyjścia w odległości 250 m są wystarczające dla zapewnienia bezpiecznych działań samoratowniczych podczas pożaru dla wszystkich analizowanych długości tunelu, przy zakładanym czasie wykrycia pożaru równym 120 s. Ponadto graniczne wartości odległości wyjść ewakuacyjnych wynoszą: 350 m dla tuneli o długości 1500 m, 2000 m; 300 m dla tuneli o długości 2500 m; 250 m dla tuneli o długości 3000 m i 3500 m.

Określenie odległości wyjść ewakuacyjnych dla danego tunelu drogowego każdorazowo powinno być poprzedzone analizą ryzyka na etapie projektowym dla najbardziej krytycznego scenariusza, który w swoim założeniu obejmować powinien konsekwencje innych możliwych zdarzeń. Wyznaczenie optymalnej odległości pomiędzy wyjściami ewakuacyjnymi w tunelach drogowych jest ciekawym zagadnieniem i wymaga kontynuacji podjętych badań oraz powinno skutkować opracowaniem racjonalnego, ujednoliconego rozwiązania w tym zakresie.

5. Summary

Based on the analysis of Polish and foreign legal acts, and design guidelines, differences in terms of distances between emergency exits in road tunnels were identified. Polish restrictions [15] in the field in question are among the most lax regulations. The discussed issue is especially important when it comes to the safety of self-rescue activities in fire conditions, as the distance between emergency exits affects evacuation time.

In the carried out studies of numerical modelling, a variant was analysed in which the distance between emergency exits was equal to the maximum allowable distance under Polish regulations [15], i.e. 500 m. Furthermore, cases without emergency exits and with exits situated at intervals of 250 m, were also studied.

On the basis of information presented in the article, one can draw the following conclusions

1. The necessary technical measures facilitating the required safety level during evacuation from a road tunnel with a longitudinal ventilation system, in fire conditions, are transverse emergency exits. The distance between them depends, i.a., on the predicted heat release rate, traffic volume inside the tunnel, ventilation, detection time and other factors.
2. In road tunnels with a length ≥ 1500 m and with no emergency exist or with exits provided every 500 m, in relation to dynamic phenomena – which depend on fire development time, with a heat release rate of 30 MW and fire detection time of 120 s – evacuation safety will not be ensured.
3. For the discussed fire scenario, exits at intervals of 250 m are sufficient to ensure safe self-rescue activities during a fire for all the analysed tunnel lengths, assuming a fire detection time of 120 s. Furthermore, the boundary values of distances between emergency exits are 350 m for tunnels with a length of 1500 m, 2000 m, 300 m for tunnels with a length of 2500 m, and 250 m for tunnels with lengths of 3000 m and 3500 m.

The determination of distances between emergency exits for a given road tunnel should be each and every time by a risk analysis at the design stage for the most critical scenario with the objective to include the consequences of other possible events. Defining the optimal distance between emergency exits in road tunnels is an interesting topic and requires a follow-up to the initiated studies, and should result in rational, standardised solutions being devised.

Literatura / Literature

[1] Suárez J., *A Standarized Modular Solution For Tunnel Cross Passages*, [in:] *Budownictwo Podziemne i Bezpieczeństwo w Komunikacji Drogowej i Infrastrukturze Miejskiej*, AGH, Kraków 2014, 124-134.

[2] Oficjalna strona internetowa Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad www.gddkia.gov.pl [dostęp: 1.10.2015].

[3] Ronchi E., *Testing the predictive capabilities of evacuation models for road tunnel safety analysis*, "Safety Science" 2013, 59, 141-153.

[4] Ronchi E., Kinsey M., *Evacuation models of the future: insights from an online survey of user's experiences and needs*, Advanced Research Workshop – Evacuation and Human Behaviour in Emergency Situations, Spain 2011.

[5] Ronchi E., Colonna P., Capote J., Alvear D., Berloco N., Cuesta A., *The evaluation of different evacuation models for assessing road tunnel safety analyses*, "Tunnelling and Underground Space Technology" 2012, 30, 74-84.

[6] Ronchi E., Gwynne S., Purser D. A., Colonna P., *Representation of the impact of smoke on agent walking speeds in evacuation models*, "Fire Technology" 2013, 49(2), 411-431.

[7] Ronchi E., Nilsson D., Gwynne S., *Modelling the impact of emergency exit signs in tunnels*, "Fire Technology" 2012, 48(4), 861-988.

[8] Nilsson D., Johansson M., Frantzich H., *Evacuation experiment in a road tunnel: A study of human behaviour and technical installations*, "Fire Safety Journal" 2009, 44 (4), 458-468.

[9] Valasek L., Glasa J., *Simulation of the course of evacuation in tunnel fire conditions by FDS+Evac*, [in:] *Proceedings of the 2013 International Conference on Applied Mathematics and Computational Methods in Engineering*, Rhodes Island 2013, 288-295.

[10] Glasa J., Valasek L., Halada L., Weisenpacher P., *Modelling of impact of fire on safe people evacuation in tunnel*, "Journal of Physics Conference Series" 2014, 490(012067), 1-4.

[11] Smith J., A*gent-Based Simulation of Human Movements During Emergency Evacuations of Facilities*, [in:] *Structures Congress 2008: Crossing Borders,* D. Anderson, C. Ventura, D. Harvey, M. Hoit (eds.), American Society of Civil Engineers, Canada 2008, 1-10.

[12] Wąs J., Lubaś R., *Adapting Social Distances Model for Mass Evacuation*, "Simulation Journal of Cellular Automata" 2013, 8, 395-405.
[13] Wąs J., Rakoczy J., Rus M., Porzycki J., Lubaś R., Mycek M., *Problematyka modelowania i symulacji ewakuacji ludzi z tuneli*, [w:] *Budownictwo Podziemne i Bezpieczeństwo w Komunikacji Drogowej i Infrastrukturze Miejskiej*, AGH, Kraków 2014, 171–177.
[14] 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.
[15] 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 późn. zm.).
[16] RABT: Forschungsgesellschaft fur Strassen-and Verkehrswesen, Richtlinien fuer Ausstattung und Betrieb von Strassentunneln, 2006.
[17] Road Tunnels Manual. Structural Facilities Related To Operation And Safety, PIARC, 2011.
[18] Bundesgesetz über die Sicherheit von Straßentunneln (Straßentunnel-Sicherheitsgesetz – STSG), BGBl. I Nr. 54/2006 in der Fassung BGBl. I Nr. 111/2010.
[19] Linee Guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali, Strade & Autostrade No. 61, Milan 2009.
[20] Inter-Ministry Circular No. 2000-63-Safety in the Tunnels of the National Highways Network, Ministry of the Establishment, Transport and Housing, France 2000.
[21] BD 78/99: Design Manual for Roads and Bridges. Part 9: Design of Road Tunnels, United Kingdom 1999.
[22] Staten Vegvesen. Government guideline. Norwegian Public Roads Administration Directorate of Public Roads, Norway 2004.
[23] Netherlands/NL-Safe, Recommendations Ventilation of Road Tunnels, (RWS Bouwdienst, Steunpunt Tunnelveiligheid), 2005.
[24] FEDRO/ASTRA: Directive Road tunnel doors and gates, ASTRA 13 001. FEDRO, Switzeland 2009.
[25] NFPA 502: National Fire Protection Association: Standard for Road Tunnels, Bridges, and Other Limited Access Highways, USA 2014.
[26] Fire Safety Guidelines for Road Tunnels; Road tunnel design guideline, Fire Safety Design, Part 1 – 3, Australia 2001.
[27] Strona internetowa firmy ADAC, http://www.adac.de/ [dostęp: 1.11.2013].
[28] 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).
[29] *SITP: Działanie instalacji przeciwpożarowej wynikającej z założeń scenariusz pożarowego. Podręcznik projektanta systemów sygnalizacji pożaru*, Część I i II, Izba Rzeczoznawców SITP, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2010.
[30] Nawrat S., Schmidt-Polończyk N., Napieraj S., *Ocena bezpieczeństwa użytkowników tunelu drogowego z wentylacją wzdłużną w warunkach pożaru przy wykorzystaniu narzędzi modelowania numerycznego,* BiTP Vol. 43 Issue 3, 2016, pp. 253-263.
[31] CETU: Dossier Pilote des Tunnels Équipements, section 4.1 Ventilation, Centre d'études des Tunnels, France 2003.
[32] Ingenieurbüro Vössing Vepro GmbH, Ingenieurbüro Dipl. Ing. H. Vössing GmbH, Projekt wykonawczy: Budowa drogi ekspresowej S-7 Kraków-Rabka Zdrój na odcinku Lubień – Rabka Zdrój Km 713+580,21 – Km 729+410,00 oraz budowa nowego odcinka drogi nr 47 klasy Gp na odcinku Rabka Zdrój – Chabówka Km 0+000,00 - Km 0+877,22, 7. Wyposażenie Tunelu Obiekt nr 17; 7.4.A. Projekt Wentylacji. Część 1. Charakterystyka Wentylacji, Kraków 2011.
[33] Koronacki J., Mielniczuk J., *Statystyka dla studentów kierunków technicznych i przyrodniczych*, Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa 2001.

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.

* * *

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.*

Natalia Schmidt-Polończyk, Ph.D. Eng. – assistant at the Faculty of Mining and Geoengineering, the AGH University of Science and Technology in Kraków. In 2016 she defended her doctoral dissertation entitled *An assessment of the possibility of using longitudinal ventilation systems in long road tunnels. The author's area of interest includes the fields of ventilation, fire safety and evacuation.*

RECENZENCI / REVIEWERS / РЕЦЕНЗЕНТЫ 2016

1. Abramowicz Marian, prof. dr hab. inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
2. Arestovich D.N., dr – Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE) Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (Białoruś);
3. Augustyn Sławomir, płk dr. hab. inż. – Akademia Sztuki Wojennej
4. Bagieński Jan, dr hab. inż., prof. nadzw. Pol.Pozn. – Politechnika Poznańska
5. Banyś Witold, mgr inż. – SPSK nr 6 Śląskiego Uniwersytetu Medycznego w Katowicach, Górnośląskie Centrum Zdrowia Dziecka im. Jana Pawła II
6. Berezuckiy Vyacheslav, prof. – National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute (Ukraina)
7. Białecki Ryszard, prof. dr hab. inż. – Politechnika Śląska
8. Błaszczyk Andrzej, prof. dr hab. inż. – Politechnika Łódzka
9. Bobrinev E.V., Federal State Establishment All Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Rosja)
10. Bobyak V.V., dr – Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE) Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (Białoruś);
11. Boczkowska Anna, dr hab. inż., prof. PW – Politechnika Warszawska
12. Brzezińska Dorota, dr inż. – Politechnika Łódzka
13. Buczkowski Daniel, dr inż. – Instytut Przemysłu Organicznego
14. Burciu Zbigniew, prof. dr hab. inż. kpt. ż. w. prof. zw. AMG – Akademia Morska w Gdyni
15. Cała Jan, mgr
16. Celiński Maciej, dr inż. – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
17. Chruzik Katarzyna, dr inż. – Politechnika Śląska
18. Cieślik Jerzy, dr hab. – Akademia Leona Koźmińskiego
19. Czarnecki Robert, st. bryg. mgr inż. – Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej
20. Długosz Marek – Morska Służba Poszukiwania i Ratownictwa
21. Dobrzyńska Renata, dr inż. – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
22. Dyja Henryk, prof. dr hab. inż. – Politechnika Częstochowska
23. Dziubiński Marek Stanisław, prof. dr hab. inż. – Politechnika Łódzka
24. Fedorov A.V., dr hab. prof. – State Fire Academy of EMERCOM of Russia (Rosja)
25. Frolov A.I., dr – Tomsk State University (Rosja)
26. Furmański Piotr, prof. dr hab. inż. – Politechnika Warszawska
27. Furtak-Niczyporuk Marzena, dr n. med. – Uniwersytet Medyczny w Lublinie
28. Gajek Agnieszka, dr – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
29. Gałązkowski Robert, dr hab. n. med. – Lotnicze Pogotowie Ratunkowe
30. Glema Adam, dr hab. inż. prof. PP – Politechnika Poznańska
31. Głowiński Józef, prof. dr hab. inż. – Politechnika Wrocławska
32. Gnyba Marcin, dr inż. – Politechnika Gdańska
33. Grabowski Andrzej, dr hab. inż, prof. nadzw. CIOP-PIB – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy
34. Grabowski Paweł, dr inż. – Politechnika Warszawska
35. Grajewski Sylwester, dr inż. – Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu
36. Grosset Ryszard, dr prof. UTH – Uczelnia Techniczno-Handlowa im. H. Chodkowskiej
37. Grucza Bartosz, dr – Szkoła Główna Handlowa w Warszawie
38. Guliński Jacek, dr hab., prof. UAM – Uniwersytetu im. Adama Mickiewicza w Poznaniu
39. Gumińska Jolanta, dr hab. inż. – Politechnika Śląska
40. Iftodi L.A. – State Fire Academy of EMERCOM of Russia (Rosja)
41. Izak Piotr, dr hab. inż. prof. nadzw. AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
42. Jaskółowski Waldemar, st. bryg. dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
43. Karczewski Jerzy, dr
44. Kaziev M.M., dr – State Fire Academy of EMERCOM of Russia (Rosja)
45. Kitsak A.I., dr – Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE) Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (Białoruś);
46. Klapsa Wojciech, mł. bryg. mgr inż. – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy
47. Klemens Rudolf, prof. dr hab. inż. – Politechnika Warszawska
48. Konieczny Jerzy, prof. zw. dr hab. – Uniwersytet Adama Mickiewicza w Poznaniu
49. Kosowski Bogdan, dr hab. inż. prof. nadzw. WSZOP – Wyższa Szkoła Zarządzania Ochroną Pracy w Katowicach
50. Koszczyc Tadeusz, prof. dr hab. – Akademia Wychowania Fizycznego we Wrocławiu
51. Kovalev A.I., dr – Academy of Fire Safety named after Chernobyl Heroes (Ukraina);
52. Kowalski Robert, dr hab. inż., prof. nadzw. PW – Politechnika Warszawska
53. Kowolik Bernard, dr inż. – Politechnika Śląska
54. Kram Dorota, dr inż. – Politechnika Krakowska
55. Król Pawel, dr inż. – Politechnika Warszawska
56. Kubiak Tomasz, dr – Wojewódzki Koordynator Ratownictwa Medycznego PSP woj. Zachodniopomorskiego
57. Kubicki Grzegorz, dr inż. – Politechnika Warszawska
58. Laskowska Zofia, dr inż.

59. Lesiak Piotr, mł. bryg. mgr inż. – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy
60. Leszczyński Tomasz, st. bryg. w st. spocz. mgr inż.
61. Maj Piotr, dr inż. – Politechnika Warszawska
62. Majchrzak Dariusz, płk dr hab. – Akademia Obrony Narodowej
63. Maranda Andrzej, prof. dr hab. inż. – Wojskowa Akademia Techniczna
64. Marzec Marek, dr – Krajowe Centrum Koordynacji Ratownictwa i Ochrony Ludności KG PSP
65. Matyka Maciej, dr – Uniwersytet Wrocławski
66. Matysiak Antoni, prof. dr hab. inż. – Uniwersytet Zielonogórski
67. Mądrzycki Przemysław, ppłk dr inż. – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
68. Michailiuk Bogdan, dr hab. inż. – Akademia Sztuki Wojennej
69. Mikhaylov E.S., mgr – State Fire Academy of EMERCOM of Russia (Rosja)
70. Mitkowski Piotr, dr inż. – Politechnika Poznańska
71. Mizera-Pietraszko Jolanta, dr – Uniwersytet Opolski
72. Mizerski Andrzej, bryg. dr hab. inż. prof. SGSP – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
73. Musioł Dariusz, dr inż. – Politechnika Śląska
74. Musioł-Urbańczyk Anna, dr inż. – Politechnika Śląska
75. Navrotskiy O.D., dr – Research Institute of Fire Safety and Emergencies (RIFSE) Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (Białoruś);
76. Nawrat Stanisław, prof. dr hab. inż. – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
77. Nowakowski Mirosław, dr hab. inż., prof. ITWL – Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych
78. Nowicki Tomasz, st. bryg. mgr – Szkoła Aspirantów PSP w Poznaniu
79. Obolewicz Jerzy, dr inż. – Politechnika Białostocka
80. Ogrodnik Paweł, dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
81. Pak Elena – EMERCOM of Russia (Rosja)
82. Paszkiewicz Adam, prof. dr hab. – Uniwersytet Łódzki
83. Pekhotnikov A.V – VNIIPO, Federal State Establishment All Russian Research Institute for Fire Protection of Ministry of Russian Federation for Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters (Rosja)
84. Piasta Wojciech Grzegorz, dr hab. inż. prof. PŚk – Politechnika Świętokrzyska
85. Pich Robert, mjr dr inż. – Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych
86. Porowski Rafał, mł. bryg. dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
87. Półka Marzena, st. bryg. dr hab. prof. nadzw. SGSP – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
88. Roguski Jacek, dr inż. – Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy
89. Różański Paweł, dr – AWF, Wydział Biała Podlaska
90. Rubin Jan Antoni, dr inż. – Politechnika Śląska
91. Runkiewicz Leonard, prof. dr hab. inż. – Instytut Techniki Budowlanej
92. Rzeszut Katarzyna, dr hab. inż. – Politechnika Poznańska
93. Salamonowicz Zdzisław, mł. bryg. dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
94. Sekret Robert, prof. dr hab. inż. – Politechnika Częstochowska
95. Semerak M.M., prof. dr hab. – Lviv Polytechnic National University (Ukraina)
96. Skowroński Wojciech, prof. dr hab. inż. – Uniwersytet Przyrodniczy we Wrocławiu
97. Solarz Jarosław, dr hab. inż. – Akademia Sztuki Wojennej
98. Sowizdraniuk Piotr, st. kpt. dr – Szkoła Aspirantów PSP w Krakowie
99. Sozański Marek, prof. dr hab. inż. – Politechnika Poznańska
100. Stempiński Szczepan, dr – Uniwersytet Szczeciński
101. Sulik Paweł, dr inż. – Instytut Techniki Budowlanej
102. Sulimenko V.A., dr – State Fire Academy of EMERCOM of Russia (Rosja)
103. Szczerba Jacek, dr hab. inż., prof. nadzw. AGH – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
104. Ścieranka Grzegorz dr inż. – Politechnika Śląska
105. Śleszyński Przemysław, dr hab., prof. nadzw. IGiPZ – Polska Akademia Nauk
106. Telak Jerzy, dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
107. Teodorczyk Andrzej, prof. dr hab. inż. – Politechnika Warszawska
108. Tyburska Agata, mł. insp. dr hab. – Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie
109. Wąs Jarosław, dr inż. – Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie
110. Węgrzyński Wojciech, mgr inż. – Instytut Techniki Budowlanej
111. Wiśniewski Tomasz, mł. bryg. mgr inż. – Komenda Wojewódzka Państwowej Straży Pożarnej w Poznaniu
112. Witkowski Artur, dr inż. – University of Central Lancashire (Wielka Brytania)
113. Włodarski Andrzej, prof. dr hab. inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
114. Wnęk Waldemar, st. bryg. dr inż. – Szkoła Główna Służby Pożarniczej
115. Wolański Robert, bryg. dr inż. – Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie
116. Zamiar Zenon, prof. dr hab. – Wyższa Szkoła Oficerska Wojsk Lądowych
117. Zieliński Mariusz, prof. dr hab. – Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte
118. Zyśko Dorota, dr hab. prof. nadzw. – Uniwersytet Medyczny im. Piastów Śląskich we Wrocławiu

Konferencja naukowa „Bezpieczeństwo pożarowe obiektów zabytkowych”

13 grudnia 2016 r. w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym w Józefowie odbyła się konferencja naukowa pt. „Bezpieczeństwo pożarowe obiektów zabytkowych”.

Konferencja została zorganizowana przez CNBOP-PIB, a współorganizatorami byli: Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Uniwersytet Jana Kochanowskiego w Kielcach, Wyższa Szkoła Policji w Szczytnie, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu, Regionalne Centrum Badań nad Bezpieczeństwem Wyższej Szkoły Administracji w Bielsku-Białej.

Konferencja została zorganizowana w ramach projektu nr DOB-BIO7/08/01/2015 pt. „Opracowanie innowacyjnego systemu zarządzania bezpieczeństwem obiektów zabytkowych w zurbanizowanych centrach miast”, finansowanego przez NCBR.

W konferencji udział wzięli eksperci, teoretycy i praktycy oraz zaproszeni goście, w tym przedstawiciele konsorcjum naukowego realizującego ww. projekt, a także przedstawiciele uczelni wyższych, jednostek organizacyjnych PSP oraz innych podmiotów zainteresowanych i współpracujących.

Głównym celem konferencji stanowiącej podsumowanie pierwszego etapu realizacji projektu (faza badawcza) była prezentacja dotychczas uzyskanych wyników w zakresie prowadzonych badań przez Konsorcjum, a także na podstawie niezależnych badań prowadzonych przez inne jednostki naukowe zaproszone do współpracy w ramach konferencji, poddanie ich dyskusji, w tym wymianie poglądów, formułowaniu opinii, sądów i wniosków.

Uczestnicy konferencji mogli zapoznać się z wynikami I etapu projektu „Opracowanie innowacyjnego systemu zarządzania bezpieczeństwem obiektów zabytkowych...”

Pierwszą sesję poświęcono tematyce w zakresie definiowania kontekstu ochrony zabytków, zapewnienia bezpieczeństwa w obiektach muzealnych i zabytkowych i ochronie zbiorów. Panel obejmował wystąpienia: prof. dr. hab. Bernarda Wiśniewskiego oraz st. bryg. w st. sp. mgr. inż. Jana Kielina.

Drugą sesję poświęcono tematyce związanej z realizacją ww. projektu. Zaprezentowano zagadnienia związane z ochroną przeciwpożarową w obiektach muzealnych i zabytkowych, możliwościami jej doskonalenia, ochroną zbiorów, a także zaangażowania różnych podmiotów oraz służb w ten proces. Panel obejmował wystąpienia st. bryg. w st. sp. mgr. inż. Piotra Wojtaszewskiego, st. kpt. dr. inż. Pawła Ogrodnika, mł. bryg. mgr inż. Wiktora Gawrońskiego, dr inż. Andrzeja Krzyszkowskiego, mgr Ingi Abgarowicz, st. bryg. mgr. inż. Krzysztofa Kociołka.

Część trzecia poświęcona była edukacji, ochronie zabytków i zbiorów. W tej części prelekcję na temat działań policji podejmowanych

bryg. dr inż. Jacek Zboina, z-ca dyrektora CNBOP-PIB ds. certyfikacji i dopuszczeń

na rzecz ochrony zabytków wygłosił dr Robert Gwardyński.

W trakcie konferencji przedstawiciele różnych środowisk, dyscyplin naukowych, praktycy i teoretycy wymienili swoje doświadczenia i opinie, przedstawili wyniki prowadzonych badań i prac oraz dokonali próby zidentyfikowania obszarów wymagających doskonalenia. Ponadto przedstawione zostały założenia i propozycje (będące wynikiem prowadzonych badań) w zakresie systemu szkolenia i doskonalenia zawodowego, a także certyfikacji obiektów.

Z uwagi na różnorodność perspektyw postrzegania zagadnień zapewnienia bezpieczeństwa, w tym bezpieczeństwa pożarowego i ochrony zbiorów, w opinii uczestników konferencji istnieje potrzeba kontynuowania tego typu przedsięwzięć na rzecz doskonalenia ochrony przeciwpożarowej w tej specyficznej, niezwykle cennej kategorii obiektów budowlanych.

Oprac.: mgr Beata Wojtasiak
mgr inż. Damian Bąk

II KONFERENCJA

1 KWIETNIA 2017

BHP to się opłaca

TARGI BHP-BUD

BEZPIECZEŃSTWA I HIGIENY PRACY W BUDOWNICTWIE

1-2 KWIETNIA 2017 BYDGOSZCZ

Nowe Bydgoskie Centrum Targowe

- Myślęcinek

TARGI POMORSKIE

ORGANIZATOR:

Targi Pomorskie Sp. z o.o.
ul. Hetmańska 38
85-039 Bydgoszcz
fax.: +48 52 322 67 70

+48 52 581 08 22

targi@bhp-bud.pl

www.targi-pom.com.pl

PATRONAT HONOROWY:

PATRONAT MEDIALNY:

POLSKIE RADIO

przyjaciel przy pracy

styropian.biz

budownictwo.org

budowa.org

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"

Fundacja Polskiego Godła Promocyjnego

TERAZ POLSKA

gratuluje

Centrum Naukowo-Badawczemu Ochrony Przeciwpożarowej Państwowy Instytut Badawczy

uzyskania nominacji
do Polskiego Godła Promocyjnego „Teraz Polska"
w VIII Edycji Konkursu dla Przedsięwzięć Innowacyjnych

dla

systemu wsparcia testowania wyrobów i rozwiązań na rzecz ochrony przeciwpożarowej

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.

Uzyskanie przez CNBOP-PIB statusu Europejskiej Jednostki Oceny Technicznej. Kompetencje Instytutu w tym zakresie potwierdził Minister Infrastruktury i Budownictwa decyzją nr 1/JOT/WB/16 z 22 czerwca 2016.

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.

CNBOP-PIB obtained a status of the Technical Assessment Body. Institute's competence in this area was confirmed by the Minister of Infrastructure and Construction pursuant to the decision no. 1/JOT/WB/16 of 22 June 2016.

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.

CNBOP-PIB получил статус Европейского Органа Технической Оценки. Компетенции Института в этой сфере подтвердил Министр Инфраструктуры и Строительства решением № 1/JOT/WB/16 от 22 июня 2016.

POBIERZ Z Google Play

Zeskanuj kod i wejdź na naszą stronę

bitp.cnbop.pl