VOL. 51 ISSUE 3, 2018 ISSN 1895-8443

BiTP

BEZPIECZEŃSTWO I TECHNIKA POŻARNICZA
SAFETY & FIRE TECHNIQUE

badania i rozwój
research and development

Analiza podatności na zapłon wytypowanych pyłów spożywczych

s. 14

Ignition Sensitivity Analysis of Selected Food Dusts

p. 14

Zagrożenia związane z wykorzystaniem bezzałogowych platform w służbach ratunkowo-porządkowych s. 138

Threats Related to the Use of Unmanned Systems in Emergency Services p. 138

Zapobieganie poważnym awariom przemysłowym – studium przypadku na przykładzie województwa mazowieckiego s. 150

Prevention of Major Industrial Accidents – Case Study Using the Example of the Mazowieckie Voivodeship p. 150

Pożar wielopoziomowego parkingu. Czy winna była strategia ochrony przeciwpożarowej? s. 120

A Multi-Storey Car Park Fire – Was the Fire Strategy at Fault? p. 120

VOL. 51 ISSUE 3, 2018
BEZPIECZEŃSTWO I TECHNIKA POŻARNICZA
SAFETY & FIRE TECHNIQUE

KOMITET REDAKCYJNY / EDITORIAL COMMITTEE

bryg. dr hab. inż. Dariusz Wróblewski – Redaktor Naczelny / Editor-in-Chief

st. bryg. w st. spocz. mgr inż. Krzysztof Biskup
dr inż. Dorota Brzezińska
bryg. dr inż. Mariusz Feltynowski
st. bryg. w st. spocz. dr inż. Grzegorz Stankiewicz
bryg. dr n. med. Mariusz Chomoncik
kpt. dr Tomasz Węsierski
dr n. med. Beata Janas
st. bryg. dr inż. Robert Wolański
bryg. dr inż. Jacek Zboina
dr Agnieszka Siłuszyk
mgr Katarzyna Szulejewska – Sekretarz Redakcji / Editorial Secretary
mgr Elżbieta Muszyńska – Sekretarz Redakcji / Editorial Secretary

Redakcja językowa / Language editing:
mgr inż. Julia Mazur
mgr Katarzyna Szulejewska
AGIT Agnieszka Rydz

Projekt okładki: Arkadiusz Chorąży

ISSN 1895-8443
DOI: 10.12845/bitp
© by Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy, Józefów 2018. Pewne prawa zastrzeżone. Artykuły udostępnione na licencji CC BY-SA 4.0 / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute, 2018. Some rights reserved. The articles are published under Creative Commons License the CC BY-SA 4.0

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

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

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

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

Nakład/Circulation: 150 egz.

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

RADA NAUKOWA / EDITORIAL ADVISORY BOARD

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

prof. dr inż. Aleš Dudáček
Technical University of Ostrava, Czech Republic

prof. Fan Weicheng
State Key Laboratory of Fire Science – University of Science and Technology of China

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

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

dr Shamsutdin Sharabutdinovich Dagirov
State Fire Academy of EMERCOM of Russia

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

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

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

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

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

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

dr Ai Sekizawa
prof. Tokyo University of Science, Japan

INDEKSACJA W BAZACH / INDEXING IN DATABASES
Punkty MNISW: 13
Index Copernicus International: ICV 2017: 84.45
EBSCO Publishing
BazTech
RINC
J-Gate
VINITI
Referativnyj Zhurnal
Ulrich's Periodicals Directory
ProQuest

PLATFORMY KSIĘGARSKIE I BIBLIOTEKI / BOOKSTORE PLATFORMS & LIBRARIES
Google Play
Electronical Journals Library, University of Regensburg
Vernadsky National Library of Ukraine
Yakub Kolas Central Scitific Library of NAS of Belarus
CyberLeninka
ibuk.pl
Academia.edu

REDAKTORZY BITP

bryg. dr hab. inż. Dariusz Wróblewski

REDAKTOR NACZELNY

EDITOR-IN-CHIEF

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej
im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

CNBOP-PIB Scientific and Research Centre for Fire Protection
National Research Institute

st. bryg. dr inż. Robert Wolański

BADANIA I ROZWÓJ

RESEARCH AND DEVELOPMENT

Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej
w Krakowie

The Fire Service College of the State Fire Service
in Krakow

dr n. med. Beata Janas

OCHRONA ZDROWIA

HEALTH PROTECTION

Centrum Onkologii – Instytut
im. Marii Skłodowskiej-Curie

The Maria Skłodowska-Curie
Institute of Oncology

dr inż. Dorota Brzezińska

INŻYNIERIA POŻAROWA

FIRE ENGINEERING

Politechnika Łódzka

Lodz University of Technology

kpt. dr Tomasz Węsierski

TECHNIKA I TECHNOLOGIA

TECHNIQUE AND TECHNOLOGY

Szkoła Główna Służby Pożarniczej

The Main School of Fire Service

bryg. dr inż. Mariusz Feltynowski

STUDIUM PRZYPADKU – ANALIZA ZDARZEŃ RZECZYWISTYCH

CASE STUDY – ANALYSIS OF THE ACTUAL EVENTS

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

CNBOP-PIB Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute

bryg. dr inż. Jacek Zboina

CERTYFIKATY, OCENY TECHNICZNE I REKOMENDACJE

CERTIFICATES, TECHNICAL ASSESSMENTS AND RECOMMENDATIONS

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

CNBOP-PIB Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute

st. bryg. mgr inż. Krzysztof Biskup

PARTNERSTWO DLA INNOWACYJNOŚCI NA RZECZ BEZPIECZEŃSTWA

PARTNERSHIP FOR SAFETY INNOVATION

Komenda Główna Państwowej Straży Pożarnej

The National Headquarters of the State Fire Service of Poland

st. bryg. w st. spocz. dr inż. Grzegorz Stankiewicz

SZKOLENIA I PROPAGOWANIE WIEDZY

TRAINING AND KNOWLEDGE PROMOTION

bryg. dr n. med. Mariusz Chomoncik

Z PRAKTYKI DLA PRAKTYKI

THE BEST PRACTICE IN ACTION

RATOWNICTWO I MEDYCYNA KATASTROF

RESCUE AND DISASTER MEDICINE

Szkoła Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie

The Fire Service College of the State Fire Service in Krakow

dr Agnieszka Siłuszyk

REDAKTOR STATYSTYCZNY

STATISTICAL EDITOR

Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach

Siedlce University of Natural Sciences and Humanities

mgr Katarzyna Szulejewska

SEKRETARZ REDAKCJI, REDAKTOR JĘZ. POLSKIEGO

EDITORIAL SECRETARY, POLISH LANGUAGE EDITOR

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

CNBOP-PIB Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute

mgr Elżbieta Muszyńska-Połeć

SEKRETARZ REDAKCJI

EDITORIAL SECRETARY

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

CNBOP-PIB Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute

mgr inż. Julia Mazur

REDAKTOR JĘZ. ROSYJSKIEGO

RUSSIAN LANGUAGE EDITOR

Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowy Instytut Badawczy

CNBOP-PIB Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute

SZANOWNI CZYTELNICY,

Przekazujemy Państwu nowy numer czasopisma „BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza". W bieżącym wydaniu opublikowaliśmy dwanaście artykułów związanych z tematyką bezpieczeństwa.

Jednym z zagadnień poruszanych w naszym czasopiśmie jest badanie zjawisk związanych z pożarami. Artykuły o tej tematyce mają wysoką wartość praktyczną – a prezentowane wyniki badań przekładają się na rzeczywiste rozwiązania służące zapobieganiu pożarom oraz minimalizowaniu ich skutków. Niezwykle groźnymi zjawiskami, prowadzącymi do pożarów, a nawet katastrof, są wybuchy pyłów spożywczych. Stanowią one realne zagrożenie w młynach, silosach oraz zakładach przetwórstwa spożywczego. Problem ten dokładnie opisano w artykule pt. *Analiza podatności na zapłon wytypowanych pyłów spożywczych*, opublikowanym w dziale *Badania i Rozwój*. Celem pracy była analiza porównawcza parametrów zapalności, palności i termostabilności wybranych rodzajów mąk. Przeprowadzone w artykule badania eksperymentalne pozwolą zminimalizować zagrożenia związane z wybuchem tych substancji.

Serdecznie zapraszamy do lektury wspomnianej wyżej pracy, a także jedenastu pozostałych artykułów poświęconych problemom bezpieczeństwa. Dzięki dofinansowaniu otrzymanemu z Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego (DUN) dziesięć z nich zostało przetłumaczonych i opublikowanych w wersji polsko-angielskiej. Między innymi wsparcie z programu DUN pozwoliło zwiększyć w ostatnich dwóch latach udział procentowy języka obcego w kwartalniku do ponad 50%. Jest to bardzo ważny trend w rozwoju i umiędzynarodowieniu czasopisma. Nasze dotychczasowe sukcesy docenił w tym roku zespół ewaluacyjny Index Copernicus, który przyznał BITP 84,45 na 100 możliwych punktów. Uzyskany wynik jest odzwierciedleniem poziomu czasopisma oraz siły jego oddziaływania w międzynarodowym środowisku naukowym. Jest to także ważna wiadomość dla autorów, świadcząca o wzroście zainteresowania czasopismem i – tym samym – liczby jego cytowań.

Podążając za nowoczesnymi kierunkami rozwoju międzynarodowych periodyków naukowych, nasza redakcja wdrożyła w tym kwartale elektroniczny system obiegu artykułów. Zgłoszenia artykułów należy dokonywać przez stronę internetową www.editorialsystem.com/bitp/. Przekierowanie do panelu dla Autorów znajduje się na bieżącej stronie czasopisma, w zakładce: Wyślij artykuł. Nowy system redakcyjny pozwoli na lepszą organizację prac wydawniczych oraz usprawnienie komunikacji z wydawnictwem. Wśród funkcjonalności systemu oferowana jest m.in. możliwość podglądu statusu pracy. Serdecznie zapraszamy osoby zainteresowane nawiązaniem współpracy z redakcją do zarejestrowania się w systemie jako autor lub recenzent.

Tak dynamiczny rozwój BITP nie byłby możliwy bez zaangażowania Komitetu Redakcyjnego. W tym miejscu chcielibyśmy złożyć serdeczne podziękowania panu profesorowi Bernardowi Wiśniewskiemu, który opuszcza nasze grono, za długoletnią współpracę z redakcją w charakterze redaktora działu *Nauki Humanistyczne i Społeczne na Rzecz Bezpieczeństwa*.

Serdecznie zapraszamy do zgłaszania do BITP oryginalnych artykułów naukowych. Nasze łamy są otwarte dla autorów z Polski i świata, zajmujących się tematyką zgodną z profilem naszego czasopisma.

Komitet Redakcyjny

ISSN 1895-8443

DEAR READERS,

We are proud to present the latest issue of "BiTP. Safety & Fire Technique". This issue includes twelve papers related to the topic of safety.

One of the topics we explore in our journal is the study of phenomena related to fires. Papers dealing with this subject matter have high practical value, while the presented research findings translate into real-life solutions aimed at preventing fires and minimising their impact. Food dust explosions are extremely dangerous phenomena, often leading to fires or even disasters. They can pose a real threat in mills, silos and food-processing plants. This problem is described in detail in a paper entitled *Ignition Sensitivity Analysis of Selected Food Dusts*, published in the *Research & Development* section. The objective of the paper was a comparative analysis of parameters for ignitability, flammability and thermal stability of selected types of flour. Experimental tests, performed for the purposes of the paper, will help minimise the threats related to food dust explosions.

You are kindly invited to read the above-mentioned article and the other eleven papers devoted to the issues of safety. Thanks to financial support from the Ministry of Science and Higher Education (Science Dissemination Activities – DUN), ten of the articles were translated and published in both Polish and English. Over the last two years, the support from the DUN Programme contributed to increasing the share of foreign-language publications in our quarterly by more than 50%. It is a very important trend in our efforts to develop and internationalise the journal. Our achievements were acknowledged by the Index Copernicus evaluation team who gave BiTP 84.45 / 100 points. This score reflects the quality of our journal and its impact within the international scientific community. It is also an important message for the authors, as it shows the growing popularity of our journal, and consequently the growing number of its citations.

Following modern development directions of scientific journals, our editorial staff has implemented an electronic paper management system. Papers should now be submitted via our website: www.editorialsystem.com/bitp/. The link to the Authors' panel can be found on our website in the "Submit an article" tab. The new editorial system will enhance the organisation of our editorial operations, and make your communication with us more efficient. Using our system, you can, for instance, view the status of your paper. If you are interested in cooperating with our editorial staff, feel free to sign in as an author or reviewer.

Such a rapid growth of BiTP would not have been possible if it were not for the engagement of our Editorial Committee. We would like to take this opportunity to express our heartfelt thanks to Professor Bernard Wiśniewski, who is leaving our team, for his long-standing cooperation as the editor of the section entitled Humanities and Social Sciences in the Context of Safety.

We encourage you to submit your original scientific papers to BiTP. Our journal is open to authors from Poland and abroad whose research interests are aligned with the profile of our journal.

Editorial Committee

УВАЖАЕМЫЕ ЧИТАТЕЛИ,

Представляем вашему вниманию новый номер журнала „BiTP. Безопасность и Пожарная Техника". В настоящем выпуске мы опубликовали двенадцать статей, связанных с темой безопасности.

Одним из вопросов, поднятых в нашем журнале, является изучение явлений, связанных с пожарами. Статьи на эту тему имеют высокую практическую ценность, а представленные результаты исследований превращаются в реальные решения для предотвращения пожаров и минимизации их последствий. Чрезвычайно опасными явлениями, приводящими к пожарам и даже катастрофам, являются взрывы пищевой пыли. Они представляют реальную угрозу для мельниц, силосов и предприятий пищевой промышленности. Эта проблема подробно описана в статье под названием Анализ восприимчивости к воспламенению отдельных видов пищевых порошкообразных *продуктов*, опубликованной в разделе *Исследования и развитие*. Целью работы являлся сравнительный анализ параметров воспламеняемости, горючести и термостабильности отдельных видов муки. Проведенные в статье экспериментальные исследования помогут минимизировать риски, связанные со взрывом этих веществ.

Мы искренне приглашаем вас прочитать вышеупомянутую работу, а также одиннадцать других статей, посвященных проблемам безопасности. Благодаря финансированию, полученному от Министерства науки и высшего образования (DUN), десять из них были переведены и опубликованы в польско-английской версии. Помимо прочего, поддержка от программы DUN позволила увеличить процентное количество содержания на иностранном языке в ежеквартальном периоде до более 50% за последние два года. Это очень важная тенденция в развитии и интернационализации журнала. В этом году наши предыдущие успехи были оценены командой Index Copernicus, которая присвоила BiTP 84,45 из 100 возможных баллов. Результат отражает уровень журнала и силу его влияния в международной научной среде. Это также важная новость для авторов, демонстрирующая рост интереса к журналу и, следовательно, количество его цитирований.

Следуя современным тенденциям развития международной научной прессы, в этом квартале наша редакция внедрила электронную систему распространения статей. Представление статей должно происходить через веб-сайт www.editorialsystem.com/bitp/. Ссылка на панель для авторов находится на текущей странице журнала, на вкладке: Отправить статью. Новая редакционная система позволит лучше организовать издательскую работу и улучшить связь с издательством. Среди функциональных возможностей системы предлагается, среди прочего, возможность просмотра рабочего статуса. Мы искренне приглашаем тех, кто заинтересован в установлении сотрудничества с редакторами, зарегистрироваться в системе в качестве автора или рецензента.

Такое динамичное развитие BiTP было бы невозможно без участия Редакционного Совета. В связи с этим, мы хотели бы выразить нашу искреннюю благодарность профессору Бернарду Вишневскому, который покидает наш коллектив, за долгосрочное сотрудничество с редакцией в качестве редактора отдела Гуманистические и общественные науки на благо безопасности.

От всего сердца приглашаем Вас предлагать свои оригинальные научные статьи для BiTP. Наши страницы открыты для авторов со всей Польши и со всего мира, которые занимаются темами, соответствующими профилю нашего журнала.

Редакционный Совет

ISSN 1895-8443

BiTP

BEZPIECZEŃSTWO I TECHNIKA POŻARNICZA
SAFETY & FIRE TECHNIQUE

ZAPRASZAMY DO WSPÓŁPRACY

Redakcja kwartalnika
BiTP. Bezpieczeństwo i Technika Pożarnicza
zaprasza do nadsyłania propozycji artykułów naukowych, przeglądowych, komunikatów z badań, studiów przypadków, recenzji naukowych z obszaru szeroko rozumianego bezpieczeństwa (w języku polskim lub angielskim lub rosyjskim).

W każdym wydaniu 10 artykułów publikowanych jest w dwóch wersjach językowych (polskiej i angielskiej). Tłumaczenie finansowane ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego.
Wytyczne dla Autorów dostępne na stronie Bitp.cnbop.pl

czasopismo indeksowane w krajowych i międzynarodowych bazach naukowych

EBSCO
Open J-Gate
Index Copernicus
RINC
VINITI
BazTech
Referativnyj Zhurnal
Ulrich's Periodicals Directory

nieodpłatna publikacja w otwartym dostępie

13 pkt na liście MNiSW

promocja artykułów w portalach dla naukowców

szerokie grono odbiorców

SPIS TREŚCI

BADANIA I ROZWÓJ

14 Analiza podatności na zapłon wytypowanych pyłów spożywczych
Marzena Półłka

26 Wpływ wysokiej temperatury na zmianę wytrzymałości na zginanie zapraw cementowych modyfikowanych dodatkiem włókien polipropylenowych
Tomasz Drzymała, Bartosz Zegardło, Wioletta Jackiewicz-Rek, Daniel Sowiński

40 Numeryczna predykcja odporności ogniowej elementów strunobetonowych
Szymon Seręga

60 Uzasadnienie bezpiecznego odstępu przeciwpożarowego między fermentatorami do produkcji biogazu
S.V. Pozdieiev, V.V. Nizhnyk, Y.V. Ballo, A.M. Nuianzin, R.V. Uhanskyy, V.S. Kropyvnytskiy

68 Wpływ dodatku melaminy i krzemionki w dogarbowaniu skór na palność i wybrane właściwości skór naturalnych
Krzysztof Śmiechowski, Marlena Stachowicz

86 Studiowanie na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne w procesie przygotowania kadr dla instytucji zajmujących się bezpieczeństwem. Badania poznawcze i porównawcze – wybrane problemy
Tadeusz Kęsoń

STUDIUM PRZYPADKU – ANALIZA ZDARZEŃ RZECZYWISTYCH

104 Działania ratownicze komponentu medycznego Polskiej Ciężkiej Grupy Poszukiwawczo-Ratowniczej (HUSAR Poland) podczas akcji po trzęsieniu ziemi w Nepalu w roku 2015
Mariusz Chomoncik, Mariusz Feltynowski, Leszek Smolarczyk

120 Pożar wielopoziomowego parkingu. Czy winna była strategia ochrony przeciwpożarowej?
Paul Bryant, Dorota Brzezińska, Marek Dziubiński

126 Możliwości wykorzystania bezzałogowych platform w służbach ratunkowo-porządkowych
Mariusz Feltynowski, Maciej Zawistowski

138 Zagrożenia związane z wykorzystaniem bezzałogowych platform w służbach ratunkowo-porządkowych
Mariusz Feltynowski, Maciej Zawistowski

150 Zapobieganie poważnym awariom przemysłowym – studium przypadku na przykładzie województwa mazowieckiego
Wojciech Wiśniewski, Grzegorz Sobieszek, Bartłomiej Połeć

ISSN 1895-8443

OCHRONA ZDROWIA

170 Świadomość wpływu stresu na wypadki w akcjach ratowniczych wśród strażaków Państwowej Straży Pożarnej
Robert Piec, Barbara Szykuła-Piec

WYDARZENIA

184 Bezpieczeństwo obiektów zabytkowych i ich zbiorów
KONFERENCJA NAUKOWA

CONTENT/СОДЕРЖАНИЕ

RESEARCH AND DEVELOPMENT/ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗВИТИЕ

14 Ignition Sensitivity Analysis of Selected Food Dusts/Анализ восприимчивости к воспламенению отдельных видов пищевых порошкообразных продуктов
Marzena Półka

26 The Effect of High Temperatures on the Flexural Strength of Cement Mortar Modified by the Addition of Polypropylene Fibres/Влияние высокой температуры на изменение прочности при изгибе цементных растворов, модифицированных добавлением полипропиленовых волокон
Tomasz Drzymała, Bartosz Zegardło, Wioletta Jackiewicz-Rek, Daniel Sowiński

40 Numerical Prediction of the Fire Resistance of Pretensioned Structural Elements/Численное прогнозирование огнестойкости предварительно напряженных железобетонных конструкций
Szymon Seręga

60 The Rationale for a Safe Distance Between Fermenters for Biogas Production/Обоснование безопасного противопожарного расстояния между ферментаторами для производства биогаза
S.V. Pozdieiev, V.V. Nizhnyk, Y.V. Ballo, A.M. Nuianzin, R.V. Uhanskyy, V.S. Kropyvnytskiy

68 The Influence of the Addition of Melamine and Silica in the Retanning of Leather on the Flammability and other Selected Properties of Leather/Влияние добавления меламина и диоксида кремния на воспламеняемость и другие выбранные свойства кожи при додубливании кожи
Krzysztof Śmiechowski, Marlena Stachowicz

86 Internal Security Studies in the Process of Preparing Human Resources for the Institutions Responsible for Security. Preliminary and Comparative Studies – Selected Problems/Обучение в области внутренней безопасности в процессе подготовки кадров для учреждений, занимающихся вопросами безопасности. Когнитивные и сравнительные исследования – выбранная проблематика
Tadeusz Kęsoń

CASE STUDY – ANALYSIS OF ACTUAL EVENTS/ТЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ – АНАЛИЗ РЕАЛЬНЫХ СОБЫТИЙ

104 Rescue Operations of the Medical Component of the Polish Heavy Urban Search and Rescue Unit (HUSAR Poland) During the Mission After the 2015 Earthquake in Nepal/Спасательные операции медицинского подразделения польской тяжелой поисково-спасательной группы (HUSAR Польша) во время акции после землетрясения в Непале в 2015 году
Mariusz Chomoncik, Mariusz Feltynowski, Leszek Smolarczyk

120 A Multi-Storey Car Park Fire – Was the Fire Strategy at Fault?/Пожар на многоэтажной автостоянке. Была ли виновата система противопожарной защиты?
Paul Bryant, Dorota Brzezińska, Marek Dziubiński

ISSN 1895-8443

126 Opportunities Related to the Use of Unmanned Systems in Emergency Services/Возможность использования беспилотных платформ в службах экстренной помощи
Mariusz Feltynowski, Maciej Zawistowski

138 Threats Related to the Use of Unmanned Systems in Emergency Services/Угрозы, связанные с использованием беспилотных платформ в службах экстренной помощи
Mariusz Feltynowski, Maciej Zawistowski

150 Prevention of Major industrial accidents – Case Study Using the Example of the Mazowieckie Voivodeship/Предотвращение серьезных несчастных случаев на производстве – комплексный анализ на примере Мазовецкого воеводства
Wojciech Wiśniewski, Grzegorz Sobieszek, Bartłomiej Połeć

HEALTH CARE/ЗДРАВООХРАНЕНИЕ

170 Awareness of the Influence of Stress Exposure on Accidents During Rescue Operations Among State Fire Service Firefighters/Осведомленность среди пожарных Государственной пожарной службы о влиянии стресса на несчастные случаи в спасательных операциях
Robert Piec, Barbara Szykuła-Piec

st. bryg. dr hab. Marzena Półka, prof. nadzw. SGSP[a)]*

[a)]*Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego / The Main School of Fire Service, Fire Engineering Department*
**Autor korespondencyjny / Corresponding author: mpolka@sgsp.edu.pl*

Analiza podatności na zapłon wytypowanych pyłów spożywczych

Ignition Sensitivity Analysis of Selected Food Dusts

Анализ восприимчивости к воспламенению отдельных видов пищевых порошкообразных продуктов

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu była analiza porównawcza parametrów zapalności, palności i termostabilności wybranych rodzajów mąk. Do badań użyto dostępne na rynku produkty spożywcze stosowane m.in. w przemyśle gastronomicznym, spożywczym czy w gospodarstwach domowych, tj. mąki z ciecierzycy, mąki pszennej, owsianej, ryżowej oraz kukurydzianej. Na podstawie przeprowadzonych badań eksperymentalnych wykazano, że na zapalność mąk wpływa rodzaj rośliny, z której pochodzi, jak również grubość warstwy pyłu.

Wprowadzenie: Zagrożenie wybuchem pyłów spożywczych może występować nie tylko w trakcie normalnych warunków pracy urządzeń lub procesów technologicznych, ale przede wszystkim w przypadku pracy wadliwej i awarii. Wybuchowe mieszaniny pyłowo-powietrzne mogą tworzyć się podczas transportu czy magazynowania surowców, takich jak zboże, cukier, mąka. W celu zaprojektowania i doboru odpowiednich urządzeń, wyposażenia młynów, elewatorów oraz innych obiektów, w których wytwarza się, przetwarza oraz magazynuje rozdrobnione produkty zbożowe, należy zbadać, jakie właściwości powstałych w tych warunkach pyłów decydują o zwiększonym zagrożeniu wybuchem i pożarem.

Metody: Do oznaczania palności i zapalności badanych próbek pyłów mąk przeprowadzono badania dotyczące: oznaczania minimalnej temperatury zapłonu pyłów od nagrzanej powierzchni według PN-EN 50281-2-1:2002, wyznaczenia temperatury zapalenia produktów rozkładu termicznego według normy PN-69/C-8902, analizy termograwimetrycznej według PN-EN ISO 11358-1:2014 oraz oznaczania ciepła spalania według PN-EN ISO 1716:2010. Przedstawiono wartości minimalnych temperatur zapłonu warstw i obłoków, temperatury zapalenia palnej fazy gazowej, wartości ciepła spalania oraz wykonano analizę termograwimertyczną czterech rodzajów produktów spożywczych: mąki pszennej, mąki z ciecierzycy, mąki owsianej, ryżowej oraz kukurydzianej.

Wyniki: Stwierdzono, że pył z mąki ciecierzycy spośród przebadanych pyłów stanowi największe zagrożenie pożarowe. Posiada najniższe temperatury zapłonu i początku rozkładu termicznego, a dopuszczalne temperatury powierzchni urządzeń pracujących w obecności tego pyłu dla warstwy o grubości 5 mm, 12,5 mm nie mogą przekroczyć kolejno: 245°C, 200°C.

Wnioski: Przeprowadzone badania eksperymentalne dają możliwość zminimalizowania zagrożeń i uzasadniają konieczność szczególnie dbałego i częstego usuwania nagromadzonych pyłów, przestrzegania reżimów technologicznych i wymaganej częstotliwości prowadzenia przeglądów i konserwacji biorących udział w procesie technologicznym maszyn i urządzeń. Pyły mąk – pszennej, kukurydzianej i ryżowej wykazują podobne właściwości fizykochemiczne i palne, co można zauważyć na przykładzie wartości gęstości nasypowej, temperatury zapalenia, minimalnej temperatury zapalenia obłoku oraz początkowej temperatury rozkładu termicznego. Biorąc pod uwagę wartość ciepła spalania i gęstość obciążenia ogniowego najkorzystniejsze parametry ma mąka ryżowa. Natomiast największą zapalność fazy gazowej od małego płomienia spośród badanych mąk posiada mąka owsiana.

Słowa kluczowe: pył, bezpieczeństwo pożarowe

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 09.05.2018; Zrecenzowany: 06.08.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;
Identyfikator ORCID autora: 0000-0002-2280-8137;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 14–24, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.1;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The paper presents a comparative analysis of parameters for ignitability, flammability and thermal stability for each of the selected types of flour. The tests were performed using food products available on the market and used in the catering and food industry as well as in households, i.e. chickpea, wheat, oat, rice and maize flour. Experimental research demonstrated that the combustibility of flour depends on the type of the plant from which it is made and the thickness of the dust layer.

Introduction: The hazard caused by an explosion of food dusts may be present not only under normal operating conditions of appliances or during technological processes, but primarily during the faulty work of devices or system malfunctions. Explosive mixtures of dust and air may be formed during

the transport or storage of raw materials, such as cereals, sugar or flour. In order to ensure the appropriate design and selection of suitable appliances, equipment of mills, elevators and other facilities in which ground grain products are produced, processed and stored, a study should be made as to which properties of dusts generated in those conditions cause an increased danger of explosion and fire.

Methods: To determine the flammability and ignitability of the analysed samples of flour dusts, the following tests were performed: determining the minimum ignition temperature of dusts igniting from a heated surface in accordance with PN-EN 50281-2-1:2002, specifying the ignition temperature of thermal decomposition products according to PN-69/C-8902, thermogravimetric analysis in line with PN-EN ISO 11358-1:2014, and determining combustion heat according to PN-EN ISO 1716:2010. The presented values included the minimum ignition temperatures of layers and clouds, the ignition temperature of the flammable gaseous phase and the value of combustion heat. A thermogravimetric analysis was carried out of five types of food products used, inter alia, in the catering industry, food industry and in households, including wheat, chickpea, oat, rice and maize flour.

Results: It was found that among all the tested types of dusts the chickpea flour dust causes the highest fire hazard. It has the lowest temperature of ignition and of the onset of thermal decomposition, and the admissible temperatures of the surface of appliances operating in the presence of this dust, for a layer of 5 mm and 12.5 mm may not exceed 245°C and 200°C, respectively.

Conclusions: The conducted experimental tests allow minimising the hazards and justify the necessity of ensuring a particularly thorough and frequent removal of accumulated dusts, respecting technological regimes and the required frequency of inspections and maintenance activities of all machines and appliances used in the technological process. The dusts of flours made of wheat, maize and rice were found to have similar physicochemical and flammable properties, which may be seen in the example of the bulk density value, ignition temperature, minimum cloud ignition temperature and the initial temperature of thermal decomposition. Given the value of combustion heat and fire load density, it was found that rice flour offers the most favourable parameters. The highest ignitability of the gaseous phase by a small flame among the tested types of flour was found for oat flour.

Keywords: dust ignitability, fire safety

Type of article: original scientific article

Received: 09.05.2018; Reviewed: 06.09.2018; Accepted: 05.11.2018;
Author's ORCID ID: 0000-0002-2280-8137;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 14–24, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.1;
This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью данной статьи является сравнительный анализ параметров воспламеняемости, горючести и термостабильности отдельных видов муки. В исследовании использовались коммерчески доступные пищевые продукты, применяемые, среди прочего, в гастрономической, пищевой и бытовой отраслях, а именно: мука из нута, пшеничная мука, овсяная мука, рисовая мука и кукурузная мука. На основе проведенных экспериментальных исследований было показано, что на воспламеняемость муки влияет тип растения, из которого она изготовлена, а также толщина слоя муки.

Введение: Риск взрыва пыли пищевого порошкообразного продукта может возникать не только при нормальных условиях эксплуатации оборудования или технологических процессов, но прежде всего в случае аварийной работы и сбоя. Взрывоопасные пылевоздушные смеси могут образовываться при транспортировке или хранении сырья, такого как зерно, сахар и мука. Для проектирования и выбора соответствующего оборудования и снаряжения для мельниц, элеваторов и других объектов, в которых производится, обрабатывается и хранится зерновая продукция, необходимо изучить, какие свойства порошкообразных продуктов, возникающие в результате этих условий, определяют повышенный риск взрыва и пожара.

Методы: Для определения горючести и воспламеняемости испытуемых образцов муки были проведены следующие испытания: определение минимальной температуры воспламенения муки от нагретой поверхности в соответствии с PN-EN 50281-2-1: 2002, определение температуры воспламенения продуктов термического разложения в соответствии со стандартом PN-69 / C-8902, термогравиметрический анализ согласно PN-EN ISO 11358-1: 2014 и определение теплоты сгорания согласно PN-EN ISO 1716: 2010. Были представлены значения минимальных температур воспламенения слоев и облаков пыли, температура воспламенения газовой фазы возгорания пыли, теплота сгорания и термогравиметрический анализ четырех видов пищевых продуктов: пшеничной муки, муки из нута, овсяной мука, рисовой муки и кукурузной муки.

Результаты: Было обнаружено, что пыль муки из нута среди проверенной пыли является самой пожароопасной. Она имеет самые низкие температуры воспламенения и начала термического разложения, а допустимые температуры поверхности устройств, работающих в присутствии этой пыли для толщины слоя 5 мм, 12,5 мм, не могут превышать соответственно: 245°C, 200°C.

Выводы: Проведенные экспериментальные испытания дают возможность минимизировать риски и обосновать необходимость особо тщательного и частого удаления накопленной пыли, соблюдения технологических режимов и требуемой частоты проверок и обслуживания машин и устройств, участвующих в технологическом процессе. Пыль муки - пшеницы, кукурузы и риса демонстрируют сходные легковоспламеняющиеся и физико-химические свойства, что видно из примера объемной плотности, температуры воспламенения, минимальной температуры воспламенения облаков и начальной температуры термического разложения. Учитывая величину теплоты сгорания и плотность огневой нагрузки, наиболее выгодными параметрами обладает рисовая мука. Напротив, самую высокую воспламеняемость при газовой фазе из небольшого пламени испытанной муки имеет овсяная мука.

Ключевые слова: пыль, пожарная безопасность

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 09.05.2018; Рецензирована: 06.08.2018; Одобрена: 05.11.2018;
Идентификатор ORCID автора: 0000-0002-2280-8137;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 14–24, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.1;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Wprowadzenie

Zagrożenie wybuchem pyłów spożywczych jest bardzo ważnym zagadnieniem nie tylko z powodu generowanych przez taki wybuch strat materialnych, ale także ze względu na jego istotny wpływ na ciągłość dostaw żywności. Wybuchowe mieszaniny pyłowo-powietrzne mogą powstawać podczas transportu (np. w przenośnikach kubełkowych) oraz magazynowania surowców, takich jak zboże, cukier czy mąka. Do wybuchu może więc dojść wewnątrz urządzeń produkcyjnych, w których pył palny powstaje, jest transportowany, obrabiany lub suszony, jak również na zewnątrz tych urządzeń, w tym w przestrzeniach i na powierzchniach, gdzie może on zalegać w postaci warstw tzw. pyłu osiadłego. W wyniku np. złej wentylacji, nagłego zawirowania powietrza lub wybuchu wewnątrz urządzenia produkcyjnego pył osiadły może wznieść się i utworzyć niebezpieczną chmurę pyłowo-powietrzną o stężeniu wybuchowym, która w kontakcie ze źródłem zapłonu może zapalić się i spowodować wybuch. Zapalność warstw osiadłego pyłu mąk oraz mieszanin pyłowo-powietrznych jest poważnym zagrożeniem dla wielu obiektów przemysłowych i miejsc, w których składowane lub transportowane są rozdrobnione substancje stałe [1-13]. W dawnych czasach zagrożenie wybuchem mąk występowało w młynach, spichlerzach oraz w piekarniach. Jednym z pierwszych udokumentowanych zdarzeń związanych z poruszaną tematyką był przypadek wybuchu mąki w piekarni w Turynie we Włoszech, który nastąpił w grudniu 1785 r. Wybuch spowodował stłuczenie szyb we wszystkich oknach piekarni i uszkodzenie konstrukcji budynku. Na skutek osypania się zbyt dużej ilości mąki doszło do jej wzburzenia i wzniesienia w powietrze pyłu, który uległ zapłonowi od zawieszonej lampy [5]. Kolejnym przypadkiem, do którego warto się odnieść, jest wybuch z 1878 r. w Washburn a Mill w Minnesocie [11]. W siedmiopiętrowym młynie, do obsługi którego zatrudniano 200 pracowników, w godzinach porannych doszło do trzech dużych wybuchów, w wyniku których zginęła cała czternastoosobowa załoga nocnej zmiany. Wskutek rozprzestrzeniania się pożaru na okoliczne budynki zmarły także kolejne cztery osoby. Podczas dochodzenia ustalono, że zapłon obłoku pyłu został zainicjowany przez iskrę wytworzoną poprzez ocieranie się o siebie dwóch niedostatecznie zwilżonych kamieni młyńskich. Ten wypadek przyczynił się do wprowadzenia w USA szerokich reform w przemyśle młynarskim. Obejmowały one kwestie montażu odpowiednich systemów wentylacyjnych i innych urządzeń zabezpieczających. Według statystyk w latach 1785–2012 na terenie USA doszło do 1611 wybuchów i pożarów z udziałem pyłów palnych. Aż 645 (około 40%) zdarzeń zaszło w zakładach produkujących żywność. Nagrzane powierzchnie elementów pracujących maszyn stanowiły około 23% przypadków, w wyniku których dochodziło do zapłonu pyłów względem pozostałych sklasyfikowanych źródeł zapłonu [10]. Stopniowo wprowadzano rozwiązania zmniejszające ryzyko powstania zagrożenia wynikającego z pojawienia się warstw i obłoków pyłów w niepożądanych miejscach oraz takie, które redukowały siłę zniszczeń i strat w ludziach w przypadku wystąpienia zapłonu pyłów w zakładach. Mimo to nadal dochodzi do zdarzeń z udziałem pyłów. Przykładem może być wybuch pyłu zbożowego w młynie, do którego doszło w kwietniu 2013 r. w Statesville w USA [13]. Według danych

Introduction

The risk of food dust explosion is a crucial issue not only due to financial losses generated by such explosions, but also due to its high impact on the continuity of food supplies. Explosive mixtures of dust and air may form during transport (e.g. in bucket elevators) and during the storage of raw materials such as cereals, sugar and flour. An explosion may occur inside the manufacturing equipment where the combustible dust is produced, transported, processed or dried, and outside the equipment, including spaces and surfaces where it can linger in the form known as settled dust. As a result of, e.g., poor ventilation, sudden air whirl or an explosion inside a manufacturing device, settled dust may be made airborne and create a dangerous dust and air cloud with an explosive concentration, which in contact with a source of ignition may ignite and cause an explosion. The flammability of settled dust layers and mixtures of dust and air is a serious threat for many industrial buildings and storage or transport sites of pulverised solid substances [1-13]. In the past, the risk of flour explosion was present in mills, granaries and bakeries. One of the first documented events of this type was the flour explosion in a bakery in Turin, Italy, in December 1785. The explosion shattered all the windows in the bakery and damaged the building's structure. As the surface had been covered with an excessive amount of flour, the dust was stirred and rose into the air where it ignited from a hanging lamp [5]. Another notable case was the explosion of 1978 in Washburn A Mill, Minnesota [11]. One morning, the seven-floor mill employing 200 people was shaken by large explosions, which killed all 14 people working the night shift. Fire spread to the neighbouring buildings, killing another four people. The investigators discovered that the dust cloud ignition had been started by a spark created by two insufficiently moistened millstones rubbing against each other. The accident gave rise to large-scale reforms in the US milling industry, covering the installation of ventilation systems and other security elements. According to statistics, in 1785-2012 in the USA there were 1611 explosions and fires involving combustible dusts. As many as 645 (approx. 40%) of the events took place in food-producing plants. Heated surfaces of the operating elements of machines were the cause of approx. 23% of cases of dust ignition against other listed sources of ignition [10]. Solutions were being gradually introduced to mitigate the risk of the threat arising from the formation of dust layers and clouds in undesired locations and to reduce the damage and human casualties in cases of dust ignition in plants. However, accidents caused by dust still occur. One example is the explosion of cereal grain dust which happened in a mill in Statesville, USA, in April 2013 [13]. According to data from 2016, profits from the food industry in Poland account for 17% of total budget gains generated by Polish industry. The part of the food sector dealing with the production of cereal milling products and flour products employs approx. 50,000 people. Poland ranks second in the European Union in terms of the number of operating mills. There are approx. 500 facilities of this type in this country [4].

ISSN 1895-8443

z 2016 r. zyski z przemysłu spożywczego w Polsce stanowią 17% całkowitych wpływów do budżetu z polskiego przemysłu. W sektorze spożywczym związanym z wytwarzaniem produktów przemiału zbóż i produkcją wyrobów mącznych zatrudnionych jest około 50 tys. pracowników. Polska zajmuje drugie miejsce w Unii Europejskiej co do ilości funkcjonujących obecnie młynów. Na terenie kraju występuje około 500 tego typu obiektów [4].

Poznanie właściwości pożarowo-wybuchowych poszczególnych rodzajów mąk pozwoli dobrać odpowiednie zabezpieczenia i określić maksymalne dopuszczalne temperatury powierzchni urządzeń narażonych na prace w obecności pyłów tych produktów, tak aby zredukować ryzyko zdarzeń z ich udziałem do minimum [4, 12].

Część doświadczalna

Opis badanych pyłów

Przedmiotem badań były wybrane dostępne na rynku rodzaje mąk: pszenna, z ciecierzycy, owsiana, ryżowa oraz mąka kukurydziana. Próbki każdej z mąk zostały przesiane przez stalowe sito o wielkości nominalnym oczek wynoszącym 200 µm. Próbki były jednorodne i reprezentatywne w odniesieniu do badanego pyłu.

Charakterystyka metod badawczych

Do oznaczania palności i zapalności analizowanych próbek pyłów mąk przeprowadzono badania dotyczące:

1) oznaczania minimalnej temperatury zapłonu pyłów od nagrzanej powierzchni według PN-EN 50281-2-1:2002 [14],
2) wyznaczenia temperatury zapalenia produktów rozkładu termicznego według normy PN-69/C-8902 [15],
3) analizy termograwimetrycznej według PN-EN ISO 11358-1:2014 [16],
4) oznaczania ciepła spalania według PN-EN ISO 1716:2010 [17].

Ad. 1.

Metodologia badawcza [14] służąca do wyznaczenia minimalnej temperatury zapłonu pyłu od nagrzanej powierzchni (podzielona na dwie części A i B) wykorzystana została do określenia maksymalnej dopuszczalnej temperatury powierzchni urządzeń elektrycznych i właściwego ich doboru w obiektach, w których występują pyły palne. Metodę stosuje się do badania warstwy pyłu na płycie o stałej temperaturze i oznaczenia minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu (MTZW), czyli najniższej temperatury powierzchni pieca, przy której dochodzi do zapłonu warstwy pyłu o zadanej grubości. Zgodnie z normą PN-EN 50281-2-1 zapłon warstwy pyłu następuje, jeśli spełniony jest co najmniej jeden z trzech kryteriów. Pierwszym z nich jest osiągnięcie temperatury 450°C w warstwie pyłu. Drugim jest przekroczenie o 250°C temperatury warstwy od nastawionej temperatury płyty grzejnej. Trzecim natomiast jest zaobserwowanie widocznego źródła żarzenia lub palenia w warstwie pyłu. Dla pyłów mąk zbadano minimalne temperatury zapłonu warstwy o grubości 5 mm oraz 12,5 mm. Wybór grubości warstwy 5 mm wynikał z zaleceń normy PN-EN 50281-2-1 (obowiązującej do 30 września 2018 r.) oraz nowej normy PN-EN ISO/IEC 80079-20-2 [18], która jest normą zharmonizowaną z dyrektywą Atex, natomiast grubość warstwy 12,5 mm jest rekomendowana

Recognising the fire and explosive properties of the particular types of flour will make it possible to select the appropriate protection measures and to specify the maximum permissible temperatures for the surfaces of appliances exposed to dust from these products to an extent allowing the maximum possible reduction of the risk of accidents involving them [4, 12].

Experimental part

Description of the analysed dusts

The study concerned the selected types of flour available on the market: wheat, chickpea, oat, rice and maize flour. Samples of each of the flours were sifted through a steel sieve with a nominal mesh size of 200 µm. The samples were homogeneous and representative for the analysed dust.

Specification of the research methods

To determine the flammability and ignitability of the analysed samples of flour dusts, the following tests were performed:

1) the specification of the minimum ignition temperature of dusts igniting from a heated surface in accordance with PN-EN 50281-2-1:2002 [14],
2) the specification of the ignition temperature of thermal decomposition products according to PN-69/C-8902 [15],
3) thermogravimetric analysis in line with PN-EN ISO 11358-1:2014 [16],
4) the specification of the combustion heat according to PN-EN ISO 1716:2010 [17].

Re 1.

The research methodology [14] used to determine the minimum ignition temperature of dust igniting from a heated surface (divided into parts A and B) was used to determine the maximum permissible surface temperature of electric appliances and their proper selection in buildings in which combustible dusts are present. The method is used to analyse the dust layers on a plate with a constant temperature and to determine the minimum ignition temperature of a dust layer (MFPDL), i.e. the lowest temperature of the furnace surface in which the layer of dust of a given thickness ignites. In line with standard PN-EN 50281-2-1 the dust layer ignites when at least one of the three criteria is met. The first of them is reaching the temperature of 450°C in the dust layer. The second is exceeding the set temperature of the heating plate by 250°C. The third is observing a visible source of glow or burning in the dust layer. For flour dusts, minimum ignition temperatures were tested for layers 5 mm and 12.5 mm thick. The selection of the 5 mm layer was based on the recommendations contained in standard PN-EN 50281-2-1 (valid until 30 September 2018) and the new standard PN-EN ISO/IEC 80079-20-2 [18], which is a standard harmonised with the Atex Directive, while the 12.5 mm layer thickness is recommended

przez amerykańską normę ASTM E2021 [19]. Błąd metody wynosi 10°C. Badania mąk przeprowadzono w dwukrotnych powtórzeniach w temperaturach powierzchni płyty grzejnej, przy których zaobserwowano zapłon i brak zapłonu z różnicą ± 10°C.

Metoda B stosowana jest do badania obłoku pyłu w piecu o stałej temperaturze, stąd też zważoną próbkę pyłu umieszcza się w pojemniku podłączonym jednym końcem do przewodu wprowadzającego sprężone powietrze ze zbiornika, za pomocą którego pył zostaje rozprowadzony do wnętrza pieca. Po otwarciu zaworu elektromagnetycznego próbka w postaci obłoku zostaje prowadzona do cylindrycznej rury wewnątrz pieca. Dolny koniec tej rury jest odsłonięty, co pozwala przy pomocy lusterka umieszonego pod nią, obserwować wnętrze pieca i zachodzące w nim zjawiska. Zgodnie z PN-EN 50281-2-1 (Metoda B) uznaje się, że doszło do zapłonu obłoku pyłu, jeśli pojawi się płomień wychodzący poza dolny koniec rury pieca lub wewnątrz. Może on nastąpić z pewnym opóźnieniem. Pojawienie się na wylocie iskier nie stanowi spełnienia kryterium zapłonu. Jako minimalną temperaturę zapłonu obłoku (MTZO) ustala się najniższą temperaturę pieca, w której odnotowano zapłon obłoku pyłu pomniejszoną o 20°C, a w temperaturze zapłonu poniżej 300°C o 10°C. W przypadku zidentyfikowania zagrożeń związanych z gorącymi powierzchniami należy przestrzegać warunków, aby temperatura wszystkich powierzchni, które mogą mieć kontakt z obłokami pyłów mak, nie przekraczała 2/3 MTZO, a jeżeli na powierzchniach tych istnieje możliwość gromadzenia się warstwy pyłów o grubości do 5 mm to temperatura ta powinna być niższa o margines bezpieczeństwa równy 75°C w porównaniu do MTZW. Jeśli warstwa ta jest grubsza, w zakresie od 5 mm do 50 mm, wtedy margines bezpieczeństwa należy odpowiednio zwiększyć zgodnie z wykresem na ryc. 1 [18]. Natomiast w przepisach amerykańskich dopuszczalna temperatura powierzchni urządzeń jest wyznaczana poprzez pomniejszenie wartości MTZW pyłów o grubości 12,5 mm o 25°C. Błąd metody wynosi 20°C (w badanych zakresach oznaczeń MTZO). Badania mąk przeprowadzono w dziesięciokrotnych powtórzeniach w temperaturze powierzchni wnętrza pieca, przy której już nie zaobserwowano zapłonu obłoku.

Ad. 2.

Wyznaczanie temperatury zapalenia produktów rozkładu termicznego pyłów [15] polega na oznaczeniu najniższej temperatury pieca, przy której dochodzi do pięciosekundowego palenia się gazowych produktów rozkładu termicznego na skutek działania bodźca pilotowego w postaci płomienia przykładanego przez 5 minut. Metoda badania polegała na umieszczeniu w gilzie (cylindrycznym pojemniku z przykrywką wraz z otworem dla wydobywających się gazowo-parowych produktów rozkładu termicznego) 1 g próbki pyłu, którą następnie wprowadzono do jednego z otworów znajdujących się w bloku pieca. Temperatura pieca działającego w zakresie od 150°C do 400°C regulowana była przy użyciu panelu kontrolnego. Zgodnie z normą [15] powinna być nastawiona na temperaturę o 10°C niższą niż spodziewana temperatura rozkładu termicznego próbki. W momencie zaobserwowania wydzielanych gazowych produktów rozkładu termicznego z gilzy, należy przystawić płomień palnika gazowego o długości płomienia nieprzekraczającego 10 mm i przystąpić do zapalenia produktów. Błąd metody wynosi 10°C. Wynik końcowy to średnia arytmetyczna z trzech pomiarów temperatury zapalenia nieróżniących się o 10°C.

by the US standard ASTM E2021 [19]. The error of the method is 10°C. The flours were tested with two repetitions at heating plate surface temperatures at which ignition and no ignition was observed, with a difference of ± 10°C.

Method B is used to analyse the dust cloud in a furnace with a constant temperature; a weighed sample is placed in a container with one end connected to the pipe transporting compressed air from the container, with which dust is transported to the inside of the furnace. After opening the solenoid valve, the sample in the form of a cloud is guided to the cylindrical tube inside the furnace. The lower end of the tube is exposed, which makes it possible to observe, with a mirror placed beneath it, the inside of the furnace and the phenomena occurring there. In line with PN-EN 50281-2-1 (Method B), it is considered that the dust cloud ignited if there is a flame reaching beyond the lower part of the furnace pipe or inside. It may occur with a certain delay. The presence of sparks at the outlet does not meet the ignition criterion. The lowest furnace temperature at which the dust cloud ignition was observed is determined as the minimum ignition temperature of the cloud (MFPC), lowered by 20°C, and for ignition temperatures below 300°C – by 10°C. In the case of identifying threats related to hot surfaces, the condition is to keep the temperature of all surfaces which may be in contact with flour dust clouds below 2/3 of the MFPC, and if there is a possibility of the accumulation of dusts on these surfaces with a thickness of up to 5 mm, the temperature should be lower by the safety margin of 75°C as compared to the MFPC. If the layer is thicker, within a range from 5 mm to 50 mm, the safety margin should be increased accordingly in line with Fig. 1 [18]. However, as provided in the US regulations, the permissible temperature of the surface of appliances is determined by reducing the MFPC value for dusts with a thickness of 12.5 mm by 25°C. The error of the method is 20°C (in the analysed MFPC ranges). The flours were tested with ten repetitions at the surface temperature of the inside of the furnace at which ignition of the cloud was not observed.

Re 2.

Determining the ignition temperature of dust thermal decomposition products [15] consists of identifying the lowest temperature of the furnace at which a five-second combustion of gaseous thermal decomposition products occurs as a result of the pilot stimulus involving the application of flame for 5 minutes. The study method consisted of placing in a filter cup (a cylindrical container with a lid and a hole for the gas and steam thermal decomposition products) 1 g of the dust sample, which was subsequently introduced to one of the outlets in the furnace block. The temperature of a furnace operating within the range of 150°C–400°C was regulated with a control panel. In line with the standard [15], the set temperature should be 10°C lower than the expected thermal decomposition temperature of the sample. At the moment of observing the gaseous thermal decomposition products emitted from the filter cup, a gas burner flame should be applied, with a flame length of up to 10 mm, and proceed with igniting the products. The error of the method is 10°C. The final result is the arithmetic mean of three measurements of ignition temperature not differing by 10°C.

ISSN 1895-8443

Ad. 3.

Próbki mąk o masie około 30 mg poddano analizie termograwimetrycznej metodą dynamiczną [16]. Pomiar wykonano w zakresie temperatur od 20°C do 800°C przy stałej szybkości ogrzewania wynoszącej 10°C/min. Wybór wartości szybkości ogrzewania warstw pyłów wynikał z tego, że jest to wartość średnia szybkości ogrzewania materiałów w pożarach w pełnej skali. Atmosferę utleniającą (powietrze) uzyskano poprzez zachowanie stałego przepływu powietrza o wartości 90 ml/min oraz przepływu gazu obojętnego (azotu) - 10 ml/min. Na podstawie badań własnych oszacowano precyzję pomiaru: temperatura – 1°C; masa próbki 0,01 mg; szybkość ubytku masy 1°C/min.

Ad. 4.

Ważnym parametrem pod kątem nagrzewania się warstwy pyłu na skutek zapoczątkowania reakcji spalania jest wartość ciepła spalania substancji. Jest on również istotny w kwestii obliczania obciążenia ogniowego oraz względnego czasu trwania pożaru. Do wyznaczenia ciepła spalania posłużono się metodą bomby kalorymetrycznej według normy [17].

Re 3.

Flour samples with a weight of approx. 30 mg were subjected to thermogravimetric analysis using the dynamic method [16]. The measurement was made for temperatures from 20°C to 800°C with a constant heating rate of 10°C/min. The selection of the heating rate of dust layers was based on the average value of the heating rate of materials in full-scale fires. The oxidising atmosphere (air) was achieved through the provision of a constant air flow of 90 ml/min and the neutral gas (nitrogen) flow of 10 ml/min. On the basis of the author's own research, the measurement precision was estimated: temperature – 1°C' sample weight 0.01 mg; mass loss rate 1°C/min.

Re 4.

An important parameter of dust layer heating as a result of beginning the combustion reaction is the value of the heat of the substance's combustion. It is also essential for calculating the fire load and the relative duration of the fire. The combustion heat was determined with the bomb calorimeter method according to standard [17].

Wyniki badań

Zestawienie uzyskanych wyników badań przedstawiono w tabeli 1.

Test results

The obtained test results are presented in Table 1.

Tabela 1. Zestawienie wyników pomiarów badanych próbek pyłów

Table 1. List of measurement results of the tested dust samples

Nazwa badania Test name	Uzyskane wartości dla poszczególnych próbek pyłów/The values obtained for individual dust samples				
	Pył mąki pszennej/ Wheat flour dust	Pył mąki ciecierzycy/ Chickpea flour dust	Pył mąki ryżowej/ Rice flour dust	Pył z mąki kukurydzianej/Maize flour dust	Pył z mąki owsianej/ Oat flour dust
Gęstość nasypowa [g/dm^3] (średnia arytmetyczna z pięciu pomiarów) Bulk density [g/dm^3] (arithmetic mean from 5 measurements)	540	340	580	540	344
Wilgotność pyłów [% wag.] (średnia arytmetyczna z pięciu pomiarów) Humidity of dust [wt%] (arithmetic mean from 5 measurements)	9,7	5,3	9,12	10,02	10,17
Minimalna temperatura zapłonu warstwy pyłu o grubości 5 mm [°C] Minimum ignition temperature of a 5 mm thick layer of dust [°C]	Ponad 400 over 400	320	ponad 400 over 400	ponad 400 over 400	ponad 400 over 400
Minimalna temperatura zapłonu warstwy 12,5 mm [°C] Minimum ignition temperature of a 12.5 mm thick layer of dust [°C]	400	280	ponad 400 over 400	ponad 400 over 400	ponad 400 over 400
Minimalna temperatura zapłonu obłoku pyłu [°C] Minimum ignition temperature of the dust cloud [°C]	390	440	390	380	440
Ciepło spalania [kJ/g] Combustion heat [kJ/g]	17,152	16,525	14,325	15,223	17,252
Temperatura początku rozkładu termicznego [°C] Temperature at the onset of thermal decomposition [°C]	285	252	288	288	283
Temperatura 50% ubytku masy próbki [°C] Temperature of 50% sample mass loss [°C]	306	303	302	305	301
Temperatura maksymalnej szybkości ubytku masy [°C] Temperature of the maximum mass loss rate [°C]	304	286	303	307	299
Temperatura zapalenia [°C] Ignition temperature [°C]	345	310	340	340	285

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Omówienie wyników

Wyznaczenie minimalnej temperatury zapłonu obłoku pyłów jest istotne dla prawidłowej oceny zagrożenia. Umożliwia ona właściwy dobór urządzeń pracujących w miejscach zapylonych, pozwalając na minimalizację zagrożeń pożarowo-wybuchowych, powodowanych przez palne pyły spożywcze. Podczas nagrzewania próbek pyłów zaobserwowano, że pył z owsa tracił swoją objętość, a wraz z postępującym nagrzewaniem warstwy na powierzchni pojawiły się pęknięcia, a na krawędziach widniały drobne oleiste krople. Próbki mąki pszennej i ryżowej pęczniały, natomiast pył kukurydziany przy długotrwałym nagrzewaniu wykazywał stopniowe tworzenie warstwy stopionej. Próbka pyłu z ciecierzycy ułożona na płycie w temperaturze zapłonu wytwarzała dużą ilość lotnych produktów rozkładu termicznego oraz biały dym. W przypadku oznaczania minimalnej temperatury zapłonu warstwy o grubości 5 mm dla badanych pyłów zgodnie z PN-EN 50281-2-1, spełnione kryterium zapłonu pyłu uzyskała jedynie mąka z ciecierzycy, natomiast pozostałe próbki nie spełniły tego kryterium nawet w maksymalnej temperaturze pieca wynoszącej 400˚C (zgodnie z [14]). Należy przypuszczać, że do zapłonu pozostałych próbek może dochodzić w wyższych temperaturach powierzchni grzejnych.

Czas trwania pomiarów uzależniony był od rodzaju pyłu i grubości warstwy. Podczas badania zapłonu warstwy pyłów o grubości 12,5 mm pomiary trwały od jednej do kilku godzin. Wartości minimalnej temperatury zapłonu warstwy mąki z ciecierzycy wraz ze wzrostem wysokości jej warstwy była mniejsza o 40°C, natomiast zapon uzyskano (dla warstw 12,5 mm) po 2 godzinach. Dla ciecierzycy przy zastosowanych kolejno wysokości warstw: 5 mm; 12,5 mm uzyskano minimalne temperatury zapłonu: 320°C, 280°C. Również zanotowano, że warstwa pyłu mąki pszennej o grubości 12,5 mm uległa zapłonowi w temperaturze 400°C. Przyczyną tego zjawiska jest fakt, iż przy grubszych warstwach pyłu trudniej dochodzi do wymiany ciepła z otoczeniem, przez co proces samonagrzewania następuje przy niższych temperaturach powierzchni grzejnej z większą intensywnością wydzielania ciepła. Prowadzi to do zapłonu warstwy. Zgodnie z [18] dla mąki z ciecierzycy można określić dopuszczalną temperaturę powierzchni warstwy pyłu z ciecierzycy do grubości 5 mm wynoszącą 245°C.

Przy rozważaniu dopuszczalnej temperatury dla warstw pyłu o grubości większej niż 5 mm wykorzystuje się wykres (ryc. 1).

Do określenia dopuszczalnej temperatury powierzchni urządzeń pracujących w obecności badanych pyłów zgodnie z [18] należy wziąć pod uwagę wartość minimalnej temperatury zapłonu warstwy pyłu o grubości 5 mm i wybrać zgodnie z zakresem odpowiedni wykres (ryc. 1), z którego odczytuje się wartość dopuszczalnej temperatury urządzeń pokrytych pyłem o grubości powyżej 5 mm. Dla grubości warstwy pyłu 12,5 mm dopuszczalna temperatura powierzchni urządzeń wynosi 200°C dla mąki z ciecierzycy, a dla pozostałych mąk 260°C.

W tabeli 2 ukazano wartości dopuszczalnych temperatur urządzeń, na których lub w pobliżu których istnieje ryzyko tworzenia się warstw i obłoków badanych pyłów.

Discussion of the results

Determining the minimum ignition temperature of a dust cloud is essential for the proper assessment of the threat. It allows an appropriate selection of appliances operating in dusty places, making it possible to minimise the threat of fire and explosion caused by combustible food dusts. During the heating of dust samples it was observed that oat dust was losing its volume, and together with the heating of the layer, cracks appeared on the surface and oily drops appeared on the edges. Wheat and rice flour samples were swelling, and maize dust heated for a long time was showing a gradual formation of a melt layer. The chickpea dust sample placed on a plate at the ignition temperature was producing a large amount of volatile thermal decomposition products and white smoke. In determining the minimum ignition temperature of the 5 mm layer for the tested dusts in line with PN-EN 50281-2-1, the dust combustion criterion was met only by the chickpea flour, and the remaining samples did not meet this criterion even at the maximum furnace temperature of 400˚C (in accordance with [14]). It should be concluded that the remaining samples may ignite at higher temperatures of heating surfaces.

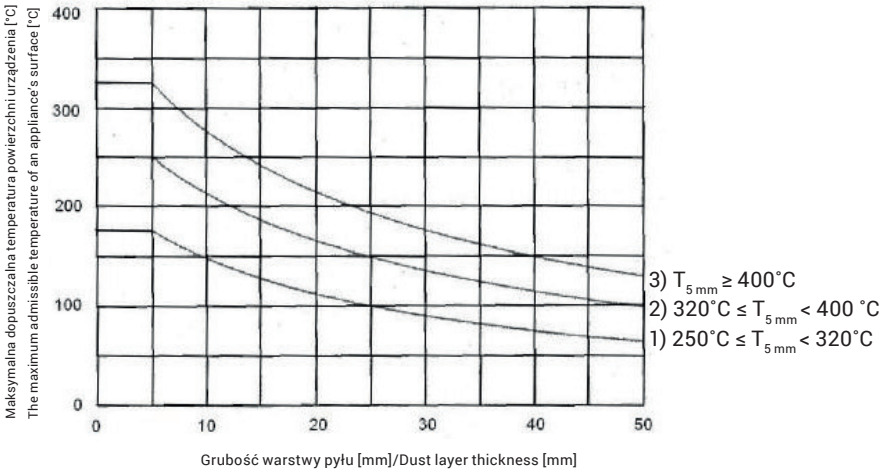
The duration of measurements depended on the type of the dust and the thickness of the layer. During the analysis of the ignition of dusts with a thickness of 12.5 mm measurements lasted from one to several hours. The minimum ignition temperature for a layer of chickpea flour along with an increase in the layer's height was lower by 40°C, and ignition was reached (for 12.5 mm layers) after 2 hours. In the case of chickpea with the respective layers of 5 mm and 12.5 mm the following minimum ignition temperatures were obtained: 320°C and 280°C. It was also recorded that for the wheat flour dust layer with a thickness of 12.5 mm the ignition temperature was 400°C. The reason for this is that with thicker dust layers heat exchange with the environment is hindered, and this causes the self-heating process to occur at lower temperatures of the heating surface and with greater intensity of heat emission. This leads to the ignition of the layer. In line with [18] for chickpea flour it is possible to determine the permissible surface temperature for a 5 mm thick chickpea dust layer of 245°C.

When considering the permissible temperature for dust layers with a thickness higher than 5 mm, the following diagram is used (Fig. 1).

To specify the permissible surface temperature of appliances operating in the presence of the analysed dusts in accordance with [18], the minimum ignition temperature of a 5 mm layer of dust should be considered and the suitable diagram should be used with the appropriate range (Fig. 1), which is used to read the maximum temperature of appliances covered with dust with a thickness exceeding 5 mm. For the dust layer thickness of 12.5 mm the permissible surface temperature of appliances is 200°C for chickpea flour, and for the remaining flours – 260°C.

Table 2 shows permissible temperatures of appliances on or around which there is a risk of accumulation of layers and clouds of the tested dusts.

ISSN 1895-8443



Rycina 1. Zależność maksymalnej dopuszczalnej temperatury powierzchni urządzenia od grubości warstwy pyłu [18]
Figure 1. The dependence of the maximum admissible temperature of an appliance's surface (°C) on dust layer thickness [18]

Tabela 2. Maksymalne wartości dopuszczalnej temperatury urządzeń dla danych warstw i obłoków pyłów
Table 2. The maximum admissible temperature of an appliance's surface for the given dust layers and clouds

Nazwa pyłu/Dust type	Maksymalna dopuszczalna temperatura powierzchni urządzeń dla badanych pyłów przy grubości warstwy do 5 mm [°C]/The maximum permissible surface temperature of appliances for dust layers up to 5 mm thick [°C]	Maksymalna dopuszczalna temperatura powierzchni urządzeń dla badanych pyłów przy grubości warstwy do 12,5 mm [°C]/The maximum permissible surface temperature of appliances for dust layers up to 12.5 mm thick [°C]	Maksymalna dopuszczalna temperatura powierzchni urządzeń dla badanych obłoków pyłów [°C]/The maximum permissible surface temperature of appliances for tested dust clouds [°C]
Pył mąki pszennej Wheat flour dust	ponad 325 over 325	275	260
Pył mąki ciecierzycy Chickpea flour dust	245	200	293
Pył mąki ryżowej Rice flour dust	ponad 325 over 325	275	260
Pył mąki kukurydzianej Maize flour dust	ponad 325 over 325	275	253
Pył mąki owsianej Oat flour dust	ponad 325 over 325	275	293

Najniższą temperaturę zapalenia produktów rozkładu termicznego od małego płomienia uzyskano dla mąki owsianej tj. 285°C. Można zauważyć, że spośród badanych pyłów to ten pył jest najbardziej podatny na zapłon od małego płomienia. W temperaturze pieca 310°C doszło do zapalenia się produktów gazowo-parowych pyłu z ciecierzycy, co świadczy że w tej temperaturze występuje stężenie gazowych produktów rozkładu termicznego w zakresie zapalności od bodźca pilotowego. Jednakowe wartości wynoszące 340°C uzyskano dla próbek mąk kukurydzianej i ryżowej, jak również zbliżoną wartość uzyskano dla mąki pszennej. Ze względu na pęcznienie próbek z mąką pszenną, kukurydzianą i ryżową masa próbek do badań zgodnie z metodologią [15] została zmniejszona o połowę. Przyczyną tego zjawiska może być odparowanie wilgoci z pyłu, które prowadzi do jego spulchnienia w gilzach. Zaobserwowane spostrzeżenia należy wykorzystać podczas projektowania instalacji przemysłowych przeznaczonych do wykorzystania w wysokiej temperaturze i dodatkowo posiadających małe przekroje, w których mogą znaleźć się pyły wymienionych powyżej mąk.

Pomiary w termograwimetrze wykazały istotną różnicę w wartościach temperatury początku rozkładu termicznego

The lowest ignition temperature of thermal decomposition products by a small flame was obtained for oat flour, i.e. 285°C. It can be noticed that among the tested dusts this is the most susceptible to ignition by a small flame. At the furnace temperature of 310°C the gas and steam products of the chickpea dust ignited, which demonstrated that at this temperature the concentration of gaseous thermal decomposition products is present in terms of ignitability from a pilot stimulus. Equal values amounting to 340°C were obtained for the maize and rice flour samples, with a similar result for wheat flour. Due to the swelling of the wheat, maize and rice flour, the weight of test samples was reduced by half in line with the methodology in [15]. The cause of this may be the evaporation of moist from the dust, which leads to its loosening in filter cups. The observations made should be used during the design of industrial installations intended for high-temperature operations with small sections which can contain dust from the flours mentioned above.

Measurements in the thermogravimeter showed an important difference between the temperature at the onset of the thermal decomposition of the chickpea flour and the remaining

mąki z ciecierzycy a pozostałymi. Proces rozkładu termicznego pyłu mąki z ciecierzycy rozpoczął się w temperaturze 252°C, podczas gdy w pozostałych pyłach temperatury znacząco nie odbiegały od siebie. Dla pyłów z mąki pszennej, ryżowej, kukurydzianej i owsianej wynosiły one w od 283–do 288°C. Temperatura początku rozkładu termicznego pyłu z ciecierzycy była o około 12% niższa od uśrednionej wartości temperatur pozostałych próbek. Inny skład elementarny zawarty w pyle z ciecierzycy powoduje uzyskiwanie stosunkowo wyższej podatności na zapłon dla tego pyłu od nagrzanej powierzchni. Wartości temperatur, przy których nastąpił 50% ubytek masy pyłów, były zbliżone do siebie. Największe różnice można dostrzec pomiędzy pyłami mąki pszennej a owsianej. Wynosiły one 5°C. Pozostałe dwa pyły uzyskały bardzo zbliżoną wartość wynosząca dla ciecierzycy 303°C oraz dla pyłu ryżowego 302°C.

Najniższą wartość temperatury maksymalnej szybkość ubytku masy uzyskała mąka z ciecierzycy i wynosiła ona 286°C. Jest to wynik o około 7% niższy od najwyższej wartości, którą uzyskał pył z mąki kukurydzianej. Należy przypuszczać, że najniższa termostabilność mąki z ciecierzycy jest przyczyną uzyskania jego największej podatności na zapłon od nagrzanej powierzchni spośród badanych pyłów. Pyły mąki pszennej i ryżowej wykazały zbliżone wartości temperatury maksymalnej szybkości ubytku masy.

Pyły posiadające większe wartości ciepła spalania zapalały się w niższej ustawionej temperaturze pieca. Pył z owsa, którego produkty rozkładu termicznego zapalały się w temperaturze 285°C, zyskał najwyższą wartość ciepła spalania – 17,150 kJ/g. Natomiast temperatura zapalenia palnej fazy gazowej mąki ryżowej charakteryzującej się najmniejszą wartością spalania (14,325 kJ/g) wynosiła aż 340°C.

Podsumowanie

Z analizy uzyskanych wyników wynika, że ciecierzyca, która jest rośliną strączkową, ze względu na jej skład, budowę oraz zawartość substancji odżywczych, uległa zapłonowi od nagrzanej powierzchni w temperaturach niższych niż 400°C, a przy grubszych warstwach w temperaturach powierzchni pieca poniżej 300°C. Ten pył wśród badanych wykazuje największe zagrożenie spowodowania pożaru czy wybuchu. Zostało to potwierdzone w badaniach termograwimetrycznych, w których to ten pył osiągnął najniższą temperaturę początku rozkładu termicznego.

Z uzyskanych badań wynika, że zapłon warstw pozostałych mąk – pszennej, kukurydzianej, ryżowej i owsianej, o grubości 5 mm, przypuszczalnie może nastąpić dopiero przy temperaturze pieca powyżej 400°C. Na przykładzie mąki z ciecierzycy można stwierdzić, że zwiększanie grubości warstwy pyłu z 5 mm na 12,5 mm zwiększa jej podatność na zapłon od nagrzanej powierzchni i wydłuża czas potrzebny do zaobserwowania zapłonu warstwy. Wraz ze wzrostem grubości warstwy dochodzi do obniżenia temperatury zapłonu od nagrzanej powierzchni, która dla tego pyłu uległa zmniejszeniu o 40°C. Niższa temperatura zapłonu zalegającej warstwy pyłu na

flours. The thermal decomposition process of the chickpea flour dust started at 252°C, while for the remaining dusts the temperatures remained at a similar level. For wheat, rice, maize and oat flour they were within the range of 283–288°C. The temperature of the onset of the thermal decomposition for the chickpea dust was approx. 12% lower than the average value for the remaining samples. A different elemental composition of the chickpea dust causes it to have a relatively higher ignitability for this type of dust from a heated surface. The temperature values at which a 50% dust mass loss occurred were similar. The greatest differences could be noticed between wheat and oat flour, amounting to 5°C. The remaining two dusts achieved very similar values, 303°C for chickpea and 302°C for the rice dust.

The lowest maximum temperature value of the mass loss rate was achieved by the chickpea flour, amounting to 286°C. This is a result approx. 7% lower than the highest value recorded for the maize flour dust. It should be considered that the lowest thermal stability of chickpea flour is the reason for its highest ignitability from a heated surface among the analysed dusts. Wheat and rice flour dusts showed similar maximum temperature values of the mass loss rate.

Dusts with higher combustion heat values ignited at a lower set temperature of the furnace. The oat dust, whose thermal decomposition products ignited at 285°C, achieved the highest combustion heat value, i.e. 17.150 kJ/g. However, the ignition temperature of the combustible gas phase of the rice flour characterised by a lower combustion value (14.325 kJ/g) was 340°C.

Summary

The analysis of the obtained results shows that chickpea, which is a leguminous plant, due to its composition, structure and nutrient content ignited from a heated surface at temperatures lower than 400°C, and with thicker layers at furnace surface temperatures below 300°C. Among the analysed dusts, chickpea is associated with the greatest threat of fire or explosion. This was confirmed by thermogravimetric tests, in which the dust achieved the lowest temperature of the thermal decomposition onset.

The test results showed that the ignition of the remaining types of flour: wheat, maize, rice and oat with a thickness of 5 mm may presumably occur only at the furnace temperature above 400°C. Based on the example of the chickpea flour it is possible to conclude that an increase of the layer's thickness from 5 mm to 12.5 mm increases its ignitability from a heated surface and extends the time needed to observe the layer's ignition. Together with an increase of the layer's thickness, the ignition temperature from a heated surface is lowered, in this case by 40°C. A lower ignition temperature of the dust layer settling on the heated surfaces of appliances raises the risk of fire. A comparison of the bulk density of dust samples makes

ISSN 1895-8443

nagrzanych powierzchniach urządzeń podnosi ryzyko wystąpienia zagrożeń związanych z powstaniem pożaru. Porównanie wartości gęstości nasypowej próbek pyłów pozwala stwierdzić, że przy mniejszych wartościach gęstości nasypowej próbek pyłów zaobserwowano mniejsze wartości minimalnej temperatury zapłonu obłoku badanych mąk. Spowodowane jest to tym, iż badane pyły spożywcze posiadające większą wartość gęstości nasypowej, nie tworzą zbitych grudek cząstek pyłu w warstwie, przez co po wprowadzeniu do pieca obłoku pojedyncze ziarna pyłu szybciej ulegają zapłonowi. Ta zależność prowadzi do zapłonu obłoków pyłowo-powietrznych przy niższych temperaturach nagrzanej powierzchni. Możliwym czynnikiem powodującym tworzenie się grudek pyłów jest większa zawartość tłuszczu w składzie danego pyłu, która dla mąki z ciecierzycy i owsa była największa.

Mąki – pszenna, kukurydziana i ryżowa – wykazują podobne właściwości fizykochemiczne i palne, co można zauważyć podczas analizy wartości gęstości nasypowej, temperatury zapalenia, minimalnej temperatury zapalenia obłoku oraz początkowej temperatury rozkładu termicznego. Biorąc pod uwagę wartość ciepła spalania, można stwierdzić, że spośród badanych mąk najmniejszą gęstość obciążenia ogniowego przy danej powierzchni pomieszczenia posiada mąka ryżowa. Natomiast największą zapalność fazy gazowej od małego płomienia w grupie badanych mąk posiada mąka owsiana.

Wilgotność w sposób nieznaczny wpływa na zachowanie się próbek podczas badań na zapalność warstwy pyłów. Obserwowany jest jedynie w początkowych kilku minutach pomiarów, podczas których dochodziło do stopniowego odparowywania wody z próbek. Wilgotność pyłów posiada natomiast wpływ na zapalność ich obłoków. Na podstawie przedstawionych badań zauważono, że podczas oznaczeń minimalnej temperatury zapłonu obłoku pyłu wraz z obniżaniem temperatury pieca stopniowo wydłużał się czas między wprowadzeniem próbki do pieca a jej faktycznym zapłonem obłoku. Wilgotność pyłu wpływa na czas tworzenia obłoku pyłu w piecu. Przy oznaczaniu temperatury zapalenia fazy lotnej pyłów na skutek wody zawartej w próbkach pyłu ryżowego oraz kukurydzianego dochodziło do spiętrzenia się próbek powodowanego gwałtownym odparowywaniem wody i jej utrudnionym ujściem przez mały otwór przykrywki gilzy.

Przeprowadzone badania eksperymentalne dają możliwość zminimalizowania zagrożeń oraz potwierdzają konieczność szczególnie dbałego i częstego usuwania z urządzeń nagromadzonych pyłów, przestrzegania reżimów technologicznych i wymaganej częstotliwości przeglądów i konserwacji maszyn oraz urządzeń biorących udział w procesie technologicznym.

Publikacja została opracowana w ramach ewaluacji wyników projektu nr DOBR-BIO4/050/13009/2013 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pod tytułem: „Opracowanie systemowych rozwiązań wspomagających prowadzenie dochodzeń popożarowych wykorzystujących nowoczesne technologie w tym narzędzia techniczne i informatyczne".

it possible to conclude that a lower bulk density of the dust samples is associated with a lower minimum ignition temperature of the analysed flours' clouds. This is due to the fact that the analysed food dusts with a higher bulk density do not form compact lumps of dust particles in the layer, which is why after reaching the inside of the furnace single dust particles ignite quicker. This correlation leads to the ignition of dust and air clouds at lower heated surface temperatures. A possible factor causing the formation of dust lumps is the higher fat content in the composition of a given dust, which was the highest for the chickpea and oat flour.

Wheat, maize and rice flours have similar physico-chemical and flammability properties, which can be observed through the analysis of bulk density, ignition temperature, the minimum ignition temperature of a dust cloud and the initial temperature of thermal decomposition. Considering the combustion heat value it is possible to state that among the analysed flours rice flour has the lowest fire load density with a given room area. Oat flour has the highest ignitability of the gaseous phase from a small flame among the analysed flours.

Humidity has a slight impact on the performance of samples during ignitability tests of dust layers. It was observed only in the first few minutes of measurements, during which water gradually evaporated from the samples. However, humidity influences the ignitability of dust clouds. The presented tests demonstrated that during the determination of the minimum ignition temperature of a dust cloud, along with the dropping furnace temperature, the time between placing the sample in the furnace and the actual ignition of the cloud was gradually extending. Dust humidity has an impact on the formation of a dust cloud in the furnace. During the determination of the dust volatile phase ignition temperature the water contained in the rice and maize dust samples causes the concentration of the samples due to the rapid water evaporation and its hindered exit through a small hole in the filter cup's lid.

The performed experimental tests make it possible to minimise the threats and justify the necessity of the frequent and thorough removal of accumulating dust, following technological procedures and the required frequency of inspections and maintenance of machines and appliances involved in the technological process.

The publication was prepared within the evaluation of the results of project No. DOBR-BIO4/050/13009/2013 financed by the National Centre for Research and Development under the title "Developing systemic solutions to support the implementation of post-fire investigations based on cutting-edge technologies, including technical and IT tools."

Literatura / Literature

[1] Eckhoff R.K., *Current status and expected future trends in dust explosion research*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries" 2005, 18, 225–237.

[2] Babrauskas V., *Ignition handbook*, Fire Science Publishers, Issaquah 2003.

[3] Ptak S., *Analiza zagrożeń wybuchowych związanych ze współspalaniem biomasy i węgla*, rozprawa doktorska, 2016.

[4] Cudziło B., Flis U., *Nakłady i wyniki przemysłu w 2016 r.*, Warszawa 2017.

[5] Eckhoff R.K., *Dust explosions in the process industries. Third edition*, Burlington 2003.

[6] Grabarczyk M., *Minimalna temperatura zapłonu warstwy pyłu jako parametr biernej ochrony przeciwwybuchowej*, „Bezpieczeństwo pracy" 2016, 1, 22–26.

[7] Guzewski P., *Badanie przyczyn powstania pożarów. Zbiór referatów z III Międzynarodowej Konferencji*, Poznań 2007, 259–266.

[8] Salamonowicz Z., Półka M., Woliński M., Sobolewski M, *Badania eksperymentalne i modelowanie zapłonu warstwy pyłu na gorącej powierzchni*, „Przemysł Chemiczny" 2014, 93(1), 99–102.

[9] Salamonowicz Z., Michał Kotowski, Półka M., Barnat W., *Oznaczanie charakterystyk wybuchowości obłoków pyłu przy wykorzystaniu modelowania numerycznego za pomocą technik CFD*, „Przemysł Chemiczny" 2014, 93(5), 692–696.

[10] Yuan Z., Khakzad N., *Dust explosions: A threat to the process industries*, "Process Safety and Environmental Protection" 2015, 98, 57–71.

[11] http://www.mnopedia.org/event/washburn-mill-explosion-1878 [dostęp: 11.02.2018].

[12] Courrières mine disaster, Wikipedia, The Free Encyclopedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Courri%C3%A8res_mine_disaster [dostęp: 11.02.2018].

[13] White K., *Grain-dust explosion at Nestle Purina plant hurts 4*, *USA Today*, https://www.usatoday.com/story/news/nation/2014/09/14/explosion-at-nestle-plant/15648861/ [dostęp: 20.02.2018].

[14] Norma PN-EN 50281:2002 Urządzenia do stosowania w obecności pyłów palnych. Część 1-1: Urządzenia elektryczne chronione przez obudowę, Budowa i badanie. Część: 1–2: Urządzenia elektryczne chronione przez obudowę. Dobór, instalacja i konserwacja. Część: 2-1: Metody oznaczania minimalnej temperatury zapłonu pyłu.

[15] PN-69/C-89022:1969 Tworzywa sztuczne: Oznaczanie temperatury zapalenia.

[16] PN-EN ISO 11358:2004 Tworzywa sztuczne. Termograwimetria (TG) polimerów. Zasady ogólne.

[17] PN-EN ISO 1716:2010 Badania reakcji na ogień wyrobów. Określanie ciepła spalania brutto (wartości kalorycznej).

[18] PN-EN 60079-14:2009 Atmosfery wybuchowe. Część 14: Projektowanie, dobór i montaż instalacji elektrycznych.

[19] PN-EN ISO/IEC 80079-20-2 Atmosfery wybuchowe -- Część 20-2: Właściwości materiałowe -- Metody badań pyłów palnych.

[20] ASTM E2021-09 Standard Test Method for Hot-Surface Ignition Temperature of Dust Layers.

ST. BRYG. DR HAB. MARZENA PÓŁKA, PROF. NADZW. SGSP – w 1992 roku ukończyła studia na Wydziale Chemii Uniwersytetu Warszawskiego. Jest profesorem w Zakładzie Teorii Procesów Spalania i Wybuchu Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. W swojej pracy naukowej zajmuje się procesami spalania materiałów polimerowych i ich modyfikacją przeciwogniową.

SENIOR BRIG. MARZENA PÓŁKA, PH.D., SGSP PROFESSOR – in 1992 she graduated from the Faculty of Chemistry at the University of Warsaw. She works as a Professor at the Combustion and Explosion Processes Theory Institute, the Main School of the Fire Service, in Warsaw. In her academic work, she focuses on polymer-combustion processes and the modifications of polymer materials.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

BiTP

BEZPIECZEŃSTWO I TECHNIKA POŻARNICZA
SAFETY & FIRE TECHNIQUE

WE INVITE YOU TO COOPERATION

BiTP. Safety & Fire Technique journal's editorial staff kindly invites you to submit scientific and review articles, reports, case studies as well as scientific reviews in the scope of broadly understood safety (in English or Russian).

Guide for authors available on:
http://bitp.cnbop.pl/en

Free open access publishing

Journal indexed in international scientific journals databases: EBSCO, J-Gate, VINITI, Index Copernicus, Referativnyj Zhurnal, Ulrich's Periodicals Directory, RINC

Promotion of articles in portals for research communities

Journal in the ranking list of Polish Ministry of Science and Higher Education

mł. bryg. dr inż. Tomasz Drzymała[a)]*, dr inż. Bartosz Zegardło[b)], dr inż. Wioletta Jackiewicz-Rek[c)], inż. Daniel Sowiński

[a)]*Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego / The Main School of Fire Service, Faculty of Fire Safety Engineering*
[b)]*Uniwersytet Przyrodniczo-Humanistyczny w Siedlcach, Wydział Przyrodniczy / Siedlce University of Natural Sciences and Humanities, Faculty of Natural Sciences*
[c)]*Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej / Warsaw University of Technology, Faculty of Civil Engineering*
**Autor korespondencyjny / Corresponding author: t.drzymala@sgsp.edu.pl*

Wpływ wysokiej temperatury na zmianę wytrzymałości na zginanie zapraw cementowych modyfikowanych dodatkiem włókien polipropylenowych

The Effect of High Temperatures on the Flexural Strength of Cement Mortar Modified by the Addition of Polypropylene Fibres

Влияние высокой температуры на изменение прочности при изгибе цементных растворов, модифицированных добавлением полипропиленовых волокон

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest określenie wpływu oddziaływania wysokiej temperatury na zmianę wytrzymałości na zginanie zaprawy cementowej z dodatkiem oraz bez dodatku włókien polipropylenowych (PP) zgodnie z założoną procedurą badawczą. Ze względu na niejednorodny charakter oraz wrażliwość na wzrost temperatury kruszywa grubego zawartego w betonie, materiał ten w badaniach zastąpiono zaprawą cementową z dodatkiem oraz bez dodatku włókien polipropylenowych.

Wprowadzenie: Przeprowadzone badania miały na celu ocenę, jak dodatek włókien polipropylenowych wpływa na zmianę wytrzymałości analizowanych materiałów na zginanie. Ta cecha wytrzymałościowa w dużym stopniu wpływa na zjawisko termicznego eksplozyjnego odpryskiwania betonu (ang. *thermal spalling*). W ramach pracy wykonano serię badań polegających na pomiarze wytrzymałości na zginanie uprzednio wygrzanych próbek w zakresie temperatur od 20 do 600°C z dodatkiem oraz bez dodatku włókien polipropylenowych (PP). Do badań zastosowano jeden typ włókna dla wszystkich wariantów badań wytrzymałościowych, zgodnie z założonym planem eksperymentu.

Metody: Artykuł opracowano w oparciu o pomiary spadków wytrzymałości na zginanie dla prostopadłościennych beleczek o wymiarach 40 × 40 × 160 mm. Porównano wyniki badań dla kompozytów cementowych z dodatkiem oraz bez dodatku włókien, wygrzewanych w podwyższonych temperaturach. Zestawienie otrzymanych wyników przedstawiono na wykresach.

Wyniki: Porównanie wyników badania próbek z dodatkiem oraz bez dodatku włókien prowadzi do wniosku, że dodatek włókien wpływa na poprawę wytrzymałości na zginanie kompozytów cementowych w podwyższonych temperaturach.

Wnioski: W całym zakresie temperatur od 20 do 600°C zaprawy cementowe z dodatkiem włókien polipropylenowych wykazały się wyższą wytrzymałością na zginanie. Wygrzewanie badanych zapraw bez dodatku oraz z dodatkiem włókien polipropylenowych spowodowało wyraźny spadek ich wytrzymałości na zginanie wraz ze wzrostem temperatury. Dodatek włókien polipropylenowych (PP) w ilości 1,8 kg/m^3 może znacząco ograniczać powstawanie rys i pęknięć w pierwszej fazie dojrzewania betonu. Wykonane badania potwierdzają zasadność stosowania włókien polipropylenowych do zaprawy cementowej, ponieważ dodatek ten miał wpływ na poprawę wytrzymałości badanego kompozytu cementowego na zginanie zarówno w wysokich temperaturach, jak i w temperaturze normalnej (pokojowej). Pozytywny wpływ włókien polipropylenowych potwierdzają również badania przeprowadzone w kraju i za granicą.

Słowa kluczowe: kompozyt cementowy, włókna polipropylenowe, wytrzymałość, termiczne odpryskiwanie, wytrzymałość na zginanie, wysoka temperatura, beton

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 12.03.2018; Zrecenzowany: 03.09.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;
Procentowy wkład merytoryczny: T. Drzymała – 85%; B. Zegardło – 5%; W. Jackiewicz-Rek – 5%; D. Sowiński – 5%;
Identyfikatory ORCID autorów: T. Drzymała – 0000-0001-9568-3235; B. Zegardło – 0000-0002-1292-3107; W. Jackiewicz-Rek – 0000-0001-6056-5458;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 26–39, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.2;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to determine the effect of high temperature on changes in the flexural strength of cement mortar with and without the addition of polypropylene fibres (PP), following a predefined test procedure. In order to eliminate the effect of coarse aggregate on the flexural strength of the composite, cement mortar with the addition of polypropylene fibres was used in the tests. Due to the fact that coarse aggregate is inhomogeneous and sensitive to temperature increases, it could significantly distort the results.

Introduction: The aim of the study was to show how the addition of polypropylene fibres influenced changes in the flexural strength. Due to the fact that this strength has a significant impact on the phenomenon of thermal spalling, it was the main focus of the study. As part of the study, a range of tests were performed to measure the flexural strength of samples with and without the addition of polypropylene fibres, pre-heated at temperatures ranging from 20°C to 600°. One type of fibre was used for all the variants of strength tests, in line with the plan of the experiment.

Methods: The paper is based on measurements of the flexural strength reductions for rectangular-prism bars sized 40 x 40 x 160 mm. The test results for composites with and without the addition of fibres heated at different temperatures were compared and presented in detailed diagrams.

Results: A comparison of the results of tests involving samples with and without the addition of PP fibres leads to the conclusion that the addition of PP fibres significantly improves the flexural strength of cementitious composites.

Conclusions: In the entire temperature range from 20°C to 600°C, cement mortars with polypropylene fibres showed higher flexural strengths. The heating of mortars with and without the addition of polypropylene fibres resulted in a significant decrease in their tensile strengths as the temperature increased. The addition of 1.8 kg/m^3 in polypropylene fibres can significantly reduce the cracking in the first phase of concrete hardening. The tests confirmed the applicability of polypropylene fibres in cement mortar, as their addition significantly improves the flexural strength at both high and normal temperatures. The positive effect of polypropylene fibres is also confirmed by other studies conducted in Poland and abroad.

Keywords: cement composite, polypropylene fibres, strength, thermal spalling, flexural strength, high temperature, concrete

Type of article: original scientific article

Received: 12.03.2018; Reviewed: 03.09.2018; Accepted: 05.11.2018;

Percentage contribution: T. Drzymała – 85%; B. Zegardło – 5%; W. Jackiewicz-Rek – 5%; D. Sowiński – 5%;

Authors' ORCID IDs: T. Drzymała – 0000-0001-9568-3235; B. Zegardło – 0000-0002-1292-3107; W. Jackiewicz-Rek – 0000-0001-6056-5458;

Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 26–39, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.2;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель статьи – определить влияние воздействия высокой температуры на изменение прочности при изгибе цементного раствора с добавлением и без добавления полипропиленовых волокон (ПП) в соответствии с предполагаемой исследовательской процедурой. Из-за неоднородного характера и чувствительности к увеличению температуры крупного заполнителя, содержащегося в бетоне, этот материал в испытаниях был заменен цементным раствором с добавлением и без добавления полипропиленовых волокон.

Введение: Проведенные исследования были направлены на оценку того, как добавление полипропиленовых волокон влияет на изменение прочности анализируемых материалов при изгибе. Эта особенность прочности сильно влияет на явление термического отслаивания (ang. *thermal spalling*). В рамках этой работы была проведена серия испытаний, состоящая из измерения прочности при изгибе предварительно нагретых образцов в температурном диапазоне от 20 до 600°C с добавлением и без добавления полипропиленовых волокон (ПП). В соответствии с предполагаемым планом эксперимента использовался один тип волокна для всех вариантов испытаний на прочность.

Методы: Статья была разработана на основе измерений снижений прочности при изгибе для прямоугольных балок 40 × 40 × 160 мм. Сравнивались результаты испытаний цементных композитов с добавлением и без добавления волокон, нагретых при повышенных температурах. Краткое изложение полученных результатов показано на диаграммах.

Результаты: Сравнение результатов испытаний образцов с добавлением волокон и без них привело к выводу, что добавление волокон улучшает прочность при изгибе цементных композитов в условиях высоких температур.

Выводы: во всем диапазоне температур от 20 до 600°C цементные растворы с добавлением полипропиленовых волокон демонстрируют более высокую прочность на изгиб. Нагревание тестируемых растворов без добавления и с добавлением полипропиленовых волокон привело к значительному снижению их прочности при изгибе в условиях повышенных температур. Добавление полипропиленовых волокон (ПП) в количестве 1,8 кг/м^3 может значительно уменьшить появление линий и трещин в первой фазе созревания бетона. Проведенные испытания подтверждают целесообразность использования полипропиленовых волокон для цементного раствора, поскольку эта добавка влияет на повышение прочности испытываемого цементного композита при изгибе как при высоких температурах, так и при нормальной (комнатной) температуре. Положительное влияние полипропиленовых волокон также подтверждается исследованиями, проводимыми в стране и за рубежом.

Ключевые слова: цементный композит, полипропиленовые волокна, прочность, термическое отслаивание, прочность на изгиб, высокая температура, бетон

Тип статьи: оригинальная научная статья

Принята: 12.03.2018; Рецензирована: 03.09.2018; Одобрена: 05.11.2018;

Процентное соотношение участия в подготовке статьи: T. Drzymała – 85%; B. Zegardło – 5%; W. Jackiewicz-Rek – 5%; D. Sowiński – 5%;

Идентификаторы ORCID авторов: T. Drzymała – 0000-0001-9568-3235; B. Zegardło – 0000-0002-1292-3107;
W. Jackiewicz-Rek – 0000-0001-6056-5458;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 26–39, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.2;

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

Wstęp

Wysoka temperatura niekorzystnie wpływa na właściwości kompozytów cementowych [1–11]. W warunkach pożarowych konstrukcje betonowe o dużej zawartości wilgoci oraz wykonane z betonu o wysokiej wytrzymałości (HSC, *high-strength concrete*) mają tendencję do termicznego eksplozyjnego odpryskiwania (ang. *thermal spalling*). Zjawisko to dotyczy przede wszystkim betonu z niskim wskaźnikiem wodno-cementowym (w/c), wysoką wytrzymałością na ściskanie oraz zwartą matrycą cementową [3, 12]. Odspojenie od konstrukcji dużych fragmentów betonu powoduje odkrycie stali zbrojeniowej, a przez to obniżenie wytrzymałości konstrukcji. W efekcie może prowadzić to do jej uszkodzenia [3, 6]. Zjawisko „spallingu" stwarza również duże zagrożenie dla ratowników prowadzących działania ratownicze [13–15]. Na przykład w tunelach komunikacyjnych oraz w innych nieogrzewanych pomieszczeniach beton zawiera stosunkowo dużo wilgoci. W czasie pożaru na skutek gwałtownego wzrostu temperatury bardzo często ma wtedy miejsce zjawisko „spallingu" [12, 16–19].

Istnieje wiele prac naukowo-badawczych ukierunkowanych m.in. na badanie pozytywnego wpływu dodatku włókien polipropylenowych (PP) na ograniczenie zjawiska *spallingu*. Termiczne eksplozyjne odpryskiwanie betonu było przedmiotem m.in. badań objętych projektem UPTUN [19], w którym uczestniczyli również naukowcy z Polski. Do najbardziej efektywnych metod ochrony konstrukcji przed działaniem wysokich temperatur oraz termicznym eksplozyjnym odpryskiwaniem zaliczyć można:

- użycie bariery termicznej (izolacje ogniochronne – zabezpieczenia powierzchni płytami lub warstwą betonu natryskowego),
- zastosowanie włókien polipropylenowych do mieszanki betonowej,
- dodanie środka napowietrzającego do mieszanki betonowej,
- stosowanie kruszywa o niskiej rozszerzalności termicznej.

W Europie istnieje już ponad 15 tys. kilometrów tuneli komunikacyjnych – zarówno w rejonach górskich, jak i miejskich. Temperatura występująca w trakcie pożaru w tunelu jest znacznie wyższa w porównaniu z pożarami budynków.

Zjawisko *spallingu* jest wciąż przedmiotem dyskusji w środowisku naukowym [3, 20]. Ze względu na bardzo duże znaczenie praktyczne, wielu uczonych na świecie podjęło badania teoretyczne i eksperymentalne, mające na celu szersze poznanie i wyjaśnienie jego przyczyn. Na podstawie ich wyników stworzono kilka teorii, nie uzyskano jednak jednego, spójnego wyjaśnienia mechanizmów jego powstawania. Pod uwagę brane są m.in. takie czynniki jak: wysokie ciśnienie gazu powstałe w wyniku odparowywania wilgoci w przypowierzchniowej warstwie konstrukcji oraz naprężenia rozciągające, które mogą przekroczyć wytrzymałość betonu na rozciąganie [3, 17].

W celu ograniczenia odpryskiwania betonu w warunkach pożarowych do mieszanki betonowej dodaje się włókna PP, na ogół w ilości od 1 kg/m^3 do 2 kg/m^3. Ilość ta odpowiada 0,4–0,8% objętości zaczynu cementowego, przy założeniu, że zaczyn cementowy zajmuje 30% objętości betonu. W celu uzyskania dobrego

Introduction

High temperatures have an adverse effect on the properties of cement composites [1–11]. In fire conditions, concrete structures with high contents of moisture and made of high-strength concrete show a tendency for thermal spalling. This is primarily the case with low water-cement ratio (w/c) concrete exhibiting a high compressive strength and a dense cement matrix [3, 12]. The detachment of small concrete fragments from the structure causes the exposure of steel reinforcing bars, thus reducing structural integrity and potentially leading to structural damage [3, 6]. Furthermore, spalling poses a significant threat to rescuers [13–15]. For example, concrete in road and rail tunnels, and other unheated areas contains relatively large amounts of moisture. In a fire, the sudden increase in temperature frequently causes spalling [12, 16–19].

There is a large body of research on the positive effect of polypropylene (PP) additions on reducing spalling. The spalling of concrete has been studied, among others, as part of the UPTUN project [19], whose participants included Polish scientists. The most effective methods to protect structures against high temperatures and spalling include:

- using thermal barriers (fire insulation – protecting surfaces with panels or shotcrete layers);
- adding polypropylene fibres to the concrete mix;
- adding an aerating agent to the concrete mix;
- using low-thermal-expansion aggregates.

Europe already has more than 15,000 kilometres of road and rail tunnels – in both mountainous and urban areas. During fire, the temperature in a tunnel is much higher than inside a building.

Spalling continues to be a subject of scientific discussion [3, 20]. Because of its significant practical implications, many scholars around the world have been conducting theoretical and experimental research on spalling to learn more about it and explain its causes. While their findings have led to the formulation of several theories, a consistent explanation of the underlying mechanisms is yet to be proposed. Consideration has been given to such factors as high gas pressure resulting from moisture evaporation in the near-ground layer of the structure and tensile stresses which might exceed the tensile strength of concrete [3, 17].

To reduce spalling in fire conditions, PP fibres are added to the concrete mix, their amounts usually ranging from 1 kg/m^3 to 2 kg/m^3. This constitutes 0.4–0.8% of the cement slurry volume, assuming that it comprises 30% of the concrete volume. To achieve good dispersion, fibres are coated with agents that reduce their hydrophobic properties. These may include fatty-acid esters, glycerides, fatty-acid amides or cationic surfactants. The most popular varieties of polypropylene fibres soften and start to melt at a temperature of about 160°C. In such conditions, the volume of individual fibres shrinks [3]. The spaces left by the fibres form small ducts through which steam is escaping under high pressure. This prevents internal

ISSN 1895-8443

rozproszenia w trakcie mieszania włókna są powlekane środkiem zmniejszającym ich właściwości hydrofobowe. Mogą to być środki takie jak estry kwasów tłuszczowych, glicerydy, amidy kwasów tłuszczowych lub kationowe środki powierzchniowo czynne. Najpopularniejsze odmiany włókien polipropylenowych miękną i zaczynają topić się w temperaturze około 160°C. W takich warunkach dochodzi do zmniejszenia objętości poszczególnych włókien [3]. W przestrzeniach pozostałych po włóknach formują się kanaliki, którymi wydostaje się pod wysokim ciśnieniem para wodna. Dzięki temu naprężenia wewnętrzne nie osiągają punktu krytycznego i nie następuje eksplozyjne odpryskiwanie betonu [21].

Opisany wyżej zabieg technologiczny pozwala przeciwdziałać zjawisku eksplozyjnego odpryskiwania przede wszystkim dzięki obniżeniu maksymalnych wartości ciśnienia pary wodnej poprzez zwiększenie przepuszczalności betonu. Zwiększenie przepuszczalności zachodzi w związku z topnieniem włókien oraz ich pirolizą [1, 22, 23].

W obecnych czasach technologia betonu bardzo się rozwinęła. Świadczy o tym różnorodność używanych składników, dodatków i domieszek. Kompozyt ten ma wiele odmian. Technolodzy mogą go otrzymywać wedle potrzeb [24]. W celu polepszenia właściwości mechanicznych betonu bardzo często oprócz zbrojenia stalowego stosowane są także dodatki w postaci włókien. Najczęściej są to włókna polipropylenowe (PP), stalowe, nylonowe oraz wiele innych tworzyw sztucznych. Beton zbrojony wszelkiego rodzaju włóknami występuje pod wspólną nazwą jako fibrobeton i zaliczany jest do grupy materiałów kompozytowych.

Od wielu lat w Szkole Głównej Służby Pożarniczej prowadzone są badania nad wpływem wysokiej temperatury na zmiany parametrów wytrzymałościowych zarówno betonów zwykłych NSC (normal-strength concrete), jak i betonów wysokowartościowych HSC (high-strength concrete) oraz kompozytów cementowych z dodatkiem włókien polipropylenowych PFRC (polypropylene fibre-reinforced concrete) [25, 26]. Obecnie w SGSP prowadzone są również liczne prace nad optymalizacją dodatku różnego rodzaju włókien polipropylenowych do kompozytów cementowych w celu redukcji występowania zjawiska *spallingu* [27].

Źródła literaturowe opisujące możliwości wykorzystania włókien polipropylenowych (PP) do kompozytów cementowych poddanych oddziaływaniu wysokich temperatur koncentrują się głównie na redukcji zjawiska rys skurczowych podczas dojrzewania betonu [28], na zjawisku termicznego eksplozyjnego odpryskiwania *spallingu* oraz ich wpływie na zmianę parametrów wytrzymałościowych [1–27].

W badaniach w celu ograniczenia zmiennego wpływu kruszywa grubego na zmianę wytrzymałości na zginanie jako materiał badawczy zastosowano zaprawę cementową. Przygotowano dwie serie zapraw – z dodatkiem włókien PP oraz bez tego dodatku. Podczas badań analizowano zmianę wytrzymałości zapraw na zginanie, która może odgrywać istotną rolę w termicznym odpryskiwaniu betonu, gdyż oderwanie elementów betonu następuje w momencie przekroczenia jego wytrzymałości na rozciąganie. Zależność ta została wykazana w [27] oraz może mieć duży wpływ na wytrzymałość kompozytu na zginanie.

stresses from reaching the critical point, eliminating the risk of explosive concrete spalling [21].

The above-described solution makes it possible to counter explosive concrete spalling primarily because it reduces the maximum values of steam pressure by increasing concrete permeability. This occurs as a result of fibre melting and pyrolysis [1, 22, 23].

Concrete technology has seen major developments nowadays, as reflected by the diversity of components, additives and admixtures. There are many varieties of this composite. Production engineers can produce it as needed [24]. To improve the mechanical properties of concrete, fibre additives are used apart from steel reinforcing bars. Usually, they are made from polypropylene (PP), steel, nylon and various plastics. Concrete reinforced with any type of fibres is commonly referred to as fibre-reinforced concrete and considered as belonging to a group of composite materials.

For many years now, the Main School of Fire Service (SGSP) has been conducting research into the effect of high temperatures on changes in the strength parameters of both normal-strength concrete and high-strength concrete, as well as polypropylene fibre-reinforced concrete) [25, 26]. Currently, SGSP is also working extensively on optimising the addition of various types of polypropylene fibres to cement composites to reduce spalling [27].

Literature sources describing possible applications of PP fibres in cement composites exposed to high temperatures focus primarily on the reduction of contraction cracking during concrete hardening [28] and on thermal spalling, and their effect on changes in strength parameters [1-27].

In order to reduce the variable effect of coarse aggregate on changes in the flexural strength the authors used concrete mortar as a study material. Two series of mortars were prepared – with and without the addition of PP fibres. The studies analysed changes in the flexural strength of mortars as having potentially significant implications for the thermal spalling of concrete, since concrete fragments start to break off once the tensile strength of concrete is exceeded. This relationship has been proven [27], and it might have a significant effect on the flexural strength of concrete.

Program i metodyka badań

Cel oraz zakres badań

Głównym celem badań było określenie wpływu oddziaływania wysokiej temperatury na zmianę wytrzymałości na zginanie zaprawy cementowej z dodatkiem oraz bez dodatku włókien polipropylenowych (PP). Przedstawione w artykule prace badawcze ukierunkowane były również na ocenę możliwości poprawy parametrów wytrzymałościowych kompozytów cementowych poddanych oddziaływaniu wysokich temperatur poprzez wprowadzenie do mieszanki włókien polipropylenowych PP. Próbki do badań wykonano w formie prostopadłościennych beleczek o wymiarach 40 × 40 × 160 mm. Próbki po zaformowaniu po 24 godzinach wyjmowano z form i umieszczano w wodzie na 27 dni. W kolejnym etapie badań próbki przeniesiono do komory klimatycznej o RH = 99% i temperaturze 20°C, gdzie przechowywano je przez kolejne 60 dni. Następnie próbki umieszczono w suszarce i w temperaturze 70°C, suszono je do stałej masy przez 21 dni, monitorując przez ten czas ubytek wody. Suszenie badanych próbek zapraw do stałej masy przed procesem wygrzewania wynikało z tego, że próbki wilgotne bez dodatku włókien PP wygrzewane do temperatury 600°C ulegały licznym eksplozjom (spalling). Zjawisko to było najbardziej intensywne podczas szybkiego przyrostu temperatury.

Badania przeprowadzono w Szkole Głównej Służby Pożarniczej oraz na Politechnice Warszawskiej. Wytrzymałość na zginanie oznaczano na podstawie procedury opisanej w normie PN-EN 1015-11:2001 [29]. Jako dodatek zastosowano włókna polipropylenowe Fibrofor High Grade 190. Wykonano badania porównawcze dla beleczek bez dodatku włókien oraz z dodatkiem włókien w ilości 1,8 kg/m^3. Temperatury badawcze zawierały się w zakresie od 20°C do 600°C. Próbki wygrzewano w piecu w trzech temperaturach badawczych (200°C, 400°C, 600°C). W czasie badań dążono do tego, aby rozkład temperatury w czasie był zbliżony do warunków termicznych standardowego pożaru. Po wygrzewaniu w piecu i wystudzeniu, próbki każdorazowo poddawano badaniom oznaczenia wytrzymałości na zginanie.

W każdym punkcie pomiarowym zbadano po 3 próbki (zarówno z dodatkiem oraz bez dodatku włókien PP).

Na rycinie 1 przedstawiono program badań przy oznaczaniu wytrzymałości na zginanie dla beleczek zaprawowych z dodatkiem i bez dodatku włókien polipropylenowych.

Testing regime and methods

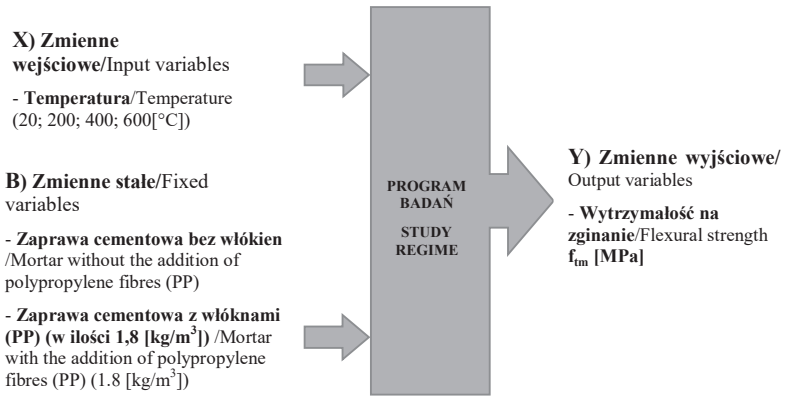
Aim and scope of study

The aim of the study was to determine the effect of high temperatures on changes in the flexural strength of cement mortars with and without the addition of polypropylene fibres (PP), following a predefined test procedure. The studies discussed in this article also aimed to examine the possibilities for improving the strength parameters of cement composites exposed to high temperatures by adding PP fibres to the mix. The test samples were made as small, rectangular-prism beams sized 40 x 40 x 160 mm. After 24 hours, the formed samples were removed from the mould and placed in water for 27 days. Subsequently, the samples were transferred to a climatic chamber with RH = 99% and a temperature of 20°C, where they were stored for further 60 days. Next, the samples were placed in a dryer and dried to constant weight for 21 days, with water loss being monitored throughout this period. The tested mortar samples were dried to constant weight before heating because moist samples without PP fibres spalled extensively when heated to 600°C. Spalling was the most extensive when the temperature increased abruptly.

The tests were conducted in the Main School of Fire Service and the Warsaw University of Technology. The flexural strength was determined using the procedure described in the PN-EN 1015-11:2001 standard [29]. Fibrofor High Grade 190 polypropylene fibres were used as the additive. Comparative tests were conducted for beams without fibres and containing 1.8 kg/m^3 of fibres. The test temperatures ranged from 20°C to 600°C. The samples were heated in a furnace at three temperatures (200°C, 400°C, 600°C). During the tests, measures were taken to make sure that the distribution of temperature in time was similar to the thermal conditions of a regular fire. After each heating and cooling, all of the samples were tested for flexural strength.

Three samples were tested per each measurement point (both with and without PP fibres).

Figure 1 shows the testing regime for the determination of flexural strength for mortar beams with and without the addition of polypropylene fibres.



Rycina 1. Program badań przy oznaczaniu wytrzymałości na zginanie f_{tm} [MPa]
Figure 1. Testing regime for the determination of flexural strength f_{tm} [MPa]
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

ISSN 1895-8443

Charakterystyka użytych materiałów

Do wykonania zaprawy użyto cement CEM I 42,5 R Lafarge z cementowni Małogoszcz spełniający, wg deklaracji producenta, wymagania normy PN-EN 197-1:2002 [30]. Jako modelowy materiał badawczy przyjęto zaprawę cementową o niskim współczynniku w/c = 0,25, doszczelnioną dodatkiem pyłu krzemionkowego. Do zaprawy wykorzystano piasek wiślany 0/2 mm oraz pył krzemionkowy Silimic. Do zaprawy użyto wodę wodociągową zgodną z wymaganiami PN-EN 1008:2004 [31]. Jako domieszkę użyto Chrysofluid Optima 185 wytwarzaną na bazie modyfikowanych polikarboksylatów i fosfonianów, zgodną z wymaganiami normy PN-EN 934-2 [32]. Zestawienie składów do wykonania próbek zaprawy potrzebnych do realizacji przyjętego planu eksperymentu zamieszczono w tabeli 1.

Characteristics of materials used

The CEM I 42.5 R Lafarge cement from the Małogoszcz cement plant, compliant with the PN-EN 197-1:2002 standard, as declared by the manufacturer, was used to make the mortar [30]. Cement mortar with a low w/c ratio = 0.25, additionally sealed with silica liquid, was used as a model test material. Sand from the Vistula River (0/2 mm) and the Silimic silica dust, and network water compliant with the PN-EN 1008:2004 standard [31] were used to make the mortar. The Chrysofluid Optima 185, made from modified polycarboxylates and phosphonates, compliant with the PN-EN 934-2 standard, was used as admixture [32]. A list of sample compositions required to complete the experiment as planned is provided in Table 1.

Tabela 1. Składy zapraw cementowych
Table 1. Compositions of cement mortars

Składniki/Components	Oznaczenie składu/Composition designation	
	0F	1.8F
Cement/CEM I 42.5 R cement, [kg/m^3]	846	846
Mikrokrzemionka/ Microsilica [kg/m^3]	84.6	84.6
Piasek/Sand [kg/m^3]	1249	1249
Plastyfikator/Optima 185 plasticiser [%] m.c.	2	2
Woda/Water [dm^3]	215	215
Włókna/Fibrofor High Grade 190 fibres [kg/m^3]	–	1.8

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [27].
Source: Own elaboration based on [27].

Do badań użyto włókien Fibrofor High Grade typ 190 produkcji firmy Brugg Contec AG. W tabeli 2 podano charakterystykę włókien na podstawie danych producenta [33].

Fibrofor High Grade Type 190 fibres made by Brugg Contec AG were used for the study. Table 2 shows the characteristics of fibres based on manufacturer's data [33].

Tabela 2. Charakterystyka włókien Fibrofor High Grade wykorzystanych do badań
Table 2. Characteristics of Fibrofor High Grade fibres used for the tests

Właściwość/Property	Nazwa włókien/Fibre name
	Fibrofor High Grade 190
Barwa/Colour	Beige
Charakterystyka/Characteristic	Wiązkowane, fibrylowane/Binded, fibrillated
Długość/Length [mm]	19
Grubość folii/Film thickness [μm]	80
Gęstość/Density [g/cm^3]	0.90
Wytrzymałość na rozciąganie/Tensile strength [N/mm^2]	~ 400
Temperatura mięknienia/Softening temperature [°C]	approx. 150

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Na rycinie 2 przedstawiono zdjęcie włókien użytych do badań.

Figure 2 shows a picture of the fibres used in the tests.

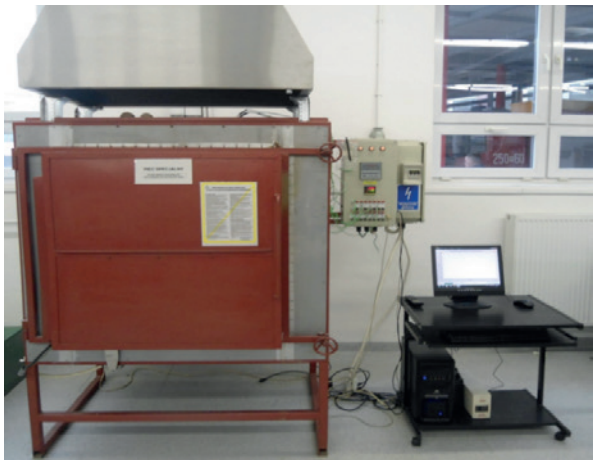
Rycina 2. Włókna polipropylenowe Fibrofor High Grade 190
Figure 2. Fibrofor High Grade 190 polypropylene fibres
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Opis stanowisk badawczych
Stanowisko do wygrzewania próbek

Wygrzewanie próbek przeprowadzono w Laboratorium Mechaniki i Wytrzymałości Materiałów w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Stanowisko do wygrzewania próbek stanowił elektryczny średniotemperaturowy piec komorowy typu PK 1100/5 wraz z komputerem PC (ryc. 3). Sterownie piecem oraz rejestrowanie temperatury w trakcie wygrzewania próbek odbywało się przy użyciu specjalistycznego oprogramowania.

Description of test stands
Sample heating stand

The samples were heated in the Material Mechanics and Strength Laboratory of the Main School of Fire Service. The heating was done using the PK 1100/5 electric medium-temperature chamber furnace with PC support (Figure 3). Specialised software was employed to control the furnace and record temperatures during sample heating.



Rycina 3. Stanowisko do wygrzewania próbek
Figure 3. Sample heating stand
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Po założonym okresie kondycjonowania próbki każdego z kompozytów podzielono na grupy, które poddano procesowi wygrzewania w temperaturach 200°C, 400°C i 600°C. Do pomiaru temperatury podczas procesu wygrzewania próbek zastosowano trzy termopary pomiarowe: termoparę regulacyjną (TR) – mierzącą temperaturę wewnątrz pieca oraz dwie termopary mierzące temperaturę na próbce (T1, T2). Termopara T1 została przytwierdzona do ścianki próbki, a termopara T2 została umieszczona w nawierconym kanaliku – koniec termopary umieszczono w połowie grubości próbki. Każdorazowo wygrzewano partię

After the sample conditioning, samples of each component were divided into groups, which were then subjected to heating at 200°C, 400°C and 600°C. Three thermocouples: the regulating thermocouple (RT) – measuring temperature inside the furnace – and two thermocouples measuring temperature on the sample (T1, T2) were used during sample heating. The thermocouple T1 was attached to the sample side, and the thermocouple T2 was placed on a bored duct, with the thermocouple's tip inserted halfway into the depth of the sample. A batch of seven test samples (three samples without fibres,

ISSN 1895-8443

7 próbek przewidzianych do badań (3 próbki bez dodatku włókien, 3 próbki z dodatkiem włókien oraz dodatkową 1 próbkę, na której mierzono temperaturę za pomocą termopar T1 oraz T2).

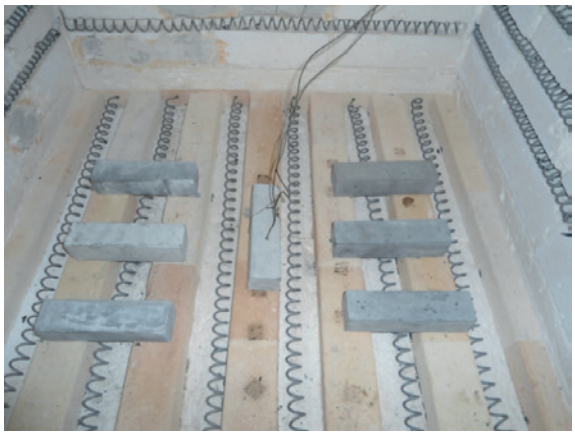
Na rycinach 4 i 5 przedstawiono widok komory pieca wraz z rozmieszczeniem w nim partii próbek przewidzianych do badań oraz próbkę, na której mierzono temperaturę.

Każdą próbkę przewidzianą do badań opisano kodem literowo-cyfrowym zgodnie przyjętym schematem (próbki z dodatkiem włókien – Z1,8F oraz próbki bez dodatku włókien – Z0F). Przyjęty kod np. 0F200/1 oznacza próbkę bez dodatku włókien, wygrzewaną w temperaturze 200°C o numerze próbki 1. Każdorazowo po wygrzewaniu piec wyłączano i studzono do temperatury bezpiecznej (około 100°C), następnie piec otwierano i próbki schładzały się przez okres około 24 godzin do osiągnięcia temperatury pokojowej, określonej jako normalna (20°C). Następnie po ostygnięciu próbki zostały poddawane badaniom wytrzymałościowym, zgodnie z założoną procedurą badawczą.

three samples with fibres and one additional sample on which temperature was measured using the thermocouples T1 and T2) was heated each time.

Figures 4 and 5 show the furnace chamber along with the arrangement of the test samples and the sample on which the temperature was measured.

Each test sample was assigned a letter-and-number code according to a predefined pattern (samples with fibre addition – Z1.8F and samples without fibre addition – Z0F). For example, the 0F200/1 code means a sample without fibres, heated at 200°C, whose sample number is 1. Each time after heating, the furnace was turned off and cooled to a safe temperature (approx. 100°C). Next, the furnace was opened to let the samples cool for about 24 hours to room temperature, defined as standard temperature (20°C). After reaching room temperature, the samples were subjected to strength testing in line with the predefined procedure.



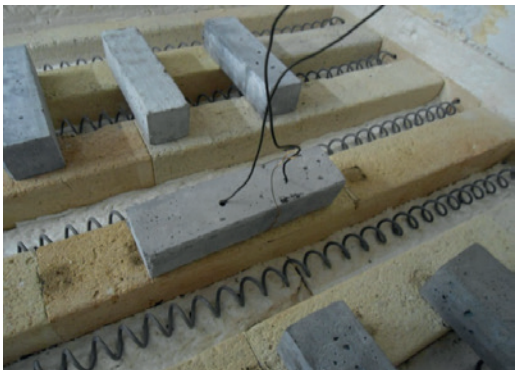
Rycina 4. Próbki prostopadłościenne w komorze pieca (gdzie: 3 próbki bez dodatku włókien; 1 próbka do pomiaru rozkładu temperatury; 3 próbki z dodatkiem włókien PP)

Figure 4. Rectangular-prism samples in the furnace chamber (where: three samples without fibres; one sample to measure the temperature distribution; three samples with the addition of PP fibres)

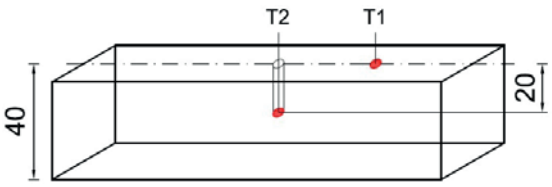
Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

a)



b)



Rycina 5. Rozmieszczenie termopar pomiarowych (gdzie: a) widok próbki z zamocowanymi termoelementami; b) schemat rozmieszczenia termoelementów w próbce)

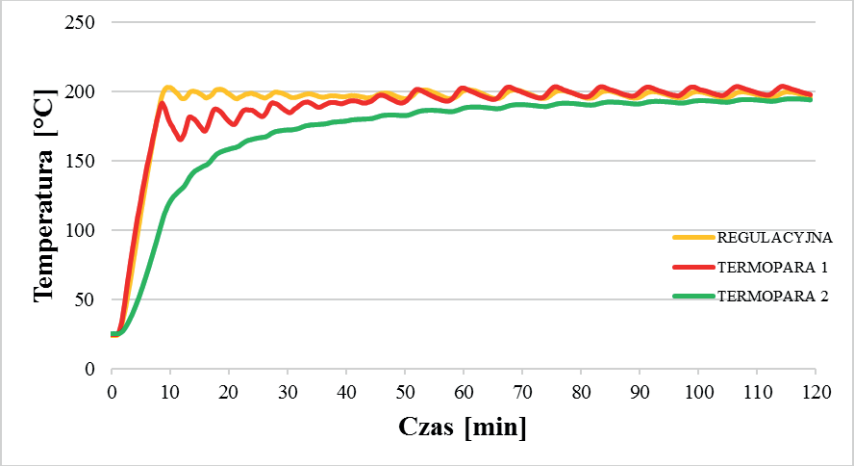
Figure 5. The arrangement of the thermocouples, where a) sample with attached thermocouples; b) diagram of the distribution of thermocouples in the sample)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Próbki wygrzewano do momentu osiągnięcia przez termopary pomiarowe żądanej temperatury. Po wyrównaniu temperatury na termoparach pomiarowych utrzymywano założoną temperaturę jeszcze przez 30 minut. Następnie po ostygnięciu na wszystkich próbkach przeprowadzono testy wytrzymałości na zginanie. Na ryc. 6–8 pokazano przykładową krzywą obrazującą rzeczywisty rozkład temperatur występujących w punktach pomiarowych.

The samples were heated until the thermocouples reached the required temperature. Once the temperature was equal on thermocouples, the target temperature was maintained for further 30 minutes. Next, all the samples were cooled and subjected to flexural-strength testing. Figures 6–8 show an example of the curve illustrating the actual distribution of temperatures at the measurement points.



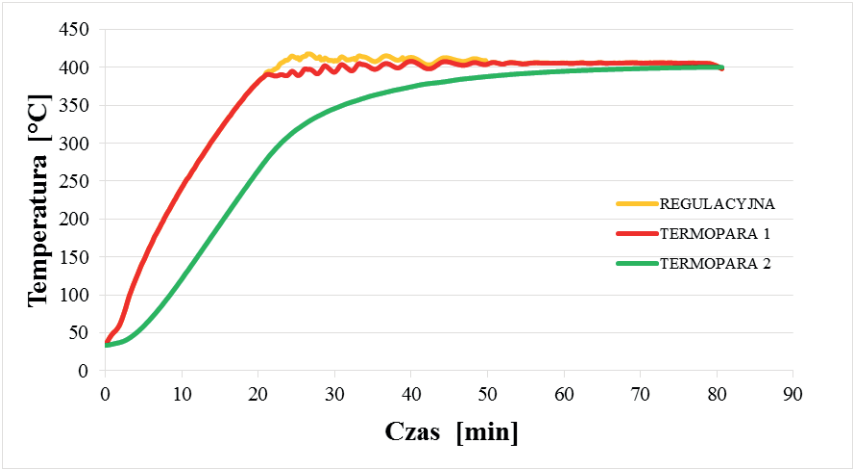
[*Regulacyjna – regulating thermocouple, termopara – thermocouple, temperature – temperature, czas – time*]

Rycina 6. Przebieg procesu wygrzewania w temperaturze 200°C

Figure 6. The heating process at 200°C

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



[*Regulacyjna – regulating thermocouple, termopara – thermocouple, temperature – temperature, czas – time*]

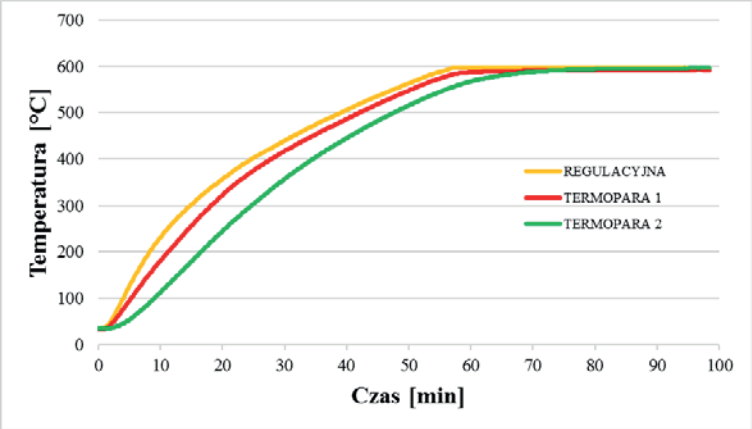
Rycina 7. Przebieg procesu wygrzewania w temperaturze 400°C

Figure 7. The heating process at 400°C

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

ISSN 1895-8443



[*Regulacyjna – regulating thermocouple, termopara – thermocouple, temperature – temperature, czas – time*]

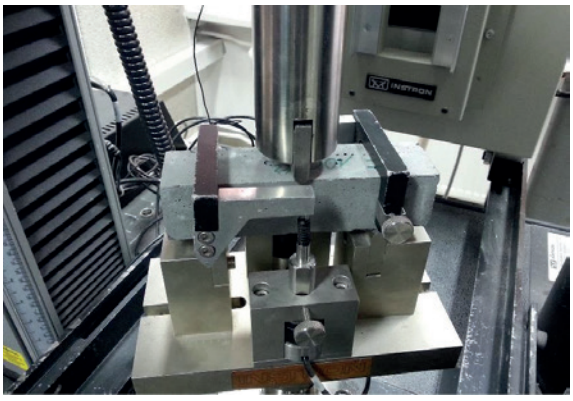
Rycina 8. Przebieg procesu wygrzewania w temperaturze 600°C
Figure 8. The heating process at 600°C
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Stanowisko do badania wytrzymałości na zginanie

Badania wytrzymałościowe przeprowadzono w Zakładzie Inżynierii Materiałów Budowlanych na Politechnice Warszawskiej. Wytrzymałość na zginanie badano na odpowiednio przystosowanej maszynie wytrzymałościowej INSTRON 5567 o zakresie pomiarowym 0–30 kN.

Flexural strength tester

The strength tests were performed in the Institute of Construction Material Engineering, the Warsaw University of Technology. The flexural strength was tested using a properly adjusted strength tester – INSTRON 5567, with a measurement range of 0–30 kN.



Rycina 9. Widok próbki umieszczonej w maszynie wytrzymałościowej
Figure 9. The tester with a sample placed in it
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Urządzenie podłączone było do komputera, na którym zainstalowana została aplikacja Instron Bluehill służąca do sterowania maszyną. Maszyna ta dzięki możliwości wymiany głowic i uchwytów może być wykorzystywana w szerokim zakresie badań wytrzymałościowych.

The device was connected to a computer with the Instron Bluehill application installed to control the tester. The tester's replaceable head and handles make it suitable for a broad range of strength tests.

Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono na wykresach ilustrujących średnie wartości wytrzymałości na zginanie próbek zaprawy bez

Test results

The test results are shown in graphs illustrating the average flexural strengths of mortar samples with and without PP fibre

dodatku oraz z dodatkiem włókien polipropylenowych (PP) w zależności od temperatury wygrzewania. W tabeli 3 zamieszczono zestawienie otrzymanych wyników badań dotyczących zmiany wytrzymałości na zginanie w procentach, gdzie wartość 100% stanowi wytrzymałość dla próbek zaprawy bez dodatku włókien polipropylenowych otrzymaną w temperaturze 20°C. Wyniki zmian względnej wytrzymałości na zginanie dla badanych zapraw otrzymano jako stosunek wytrzymałości na zginanie dla próbek wygrzewanych do wytrzymałości próbek niewygrzewanych $f_{tT}/f_{t20°C}$.

additions depending on heating temperatures. Table 3 lists the test results for changes in the flexural strength expressed as a percentage, where 100% is the strength of mortar samples without PP fibres obtained at 20°C. The changes in the relative flexural strength for tested mortars were calculated as the relationship between the flexural strength for heated samples and the flexural strength for unheated samples ($f_{tT}/f_{t20°C}$).

Tabela 3. Średnie wartości wytrzymałości na zginanie kompozytów z dodatkiem i bez dodatku włókien PP w zależności od temperatury wygrzewania wraz z procentowymi zmianami wytrzymałości (próbka niewygrzewana bez włókien – 100%)

Table 3. The average values of the flexural strength of composites with and without the addition of PP fibres depending on the heating temperature, including changes in the strength expressed as a percentage (unheated fibreless sample –100%)

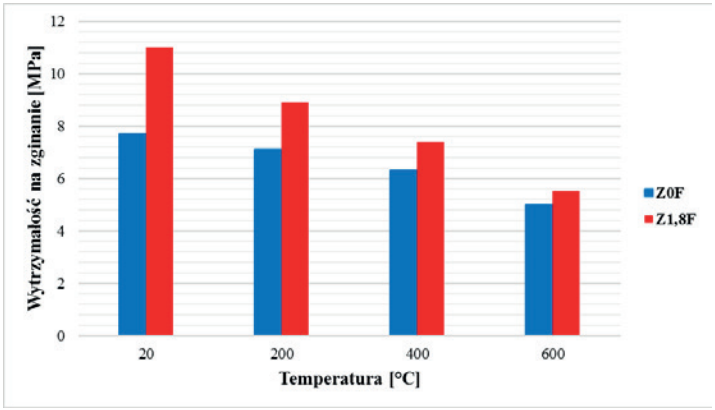
Próbki/ Samples	Wytrzymałość na zginanie f_{tm} [MPa] / Flexural strength f_{tm} [MPa]				
		20°C	200°C	400°C	600°C
Z0F	f_{tm} [MPa]	7,7	7,1	6,3	5
	$f_{tT}/f_{t20°C}$ [%]	100	92,21	81,82	64,94
	Zmiana wytrzymałości [%]/ Change in strength [%]	**0**	**–7,79**	**–18,18**	**–35,06**
Z1.8F	f_{tm} [MPa]	11	8,9	7,4	5,5
	$f_{tT}/f_{t20°C}$ [%]	142,86	115,58	96,1	71,43
	Zmiana wytrzymałości [%]/ Change in strength [%]	**42,86**	**15,58**	**–3,9**	**–28,57**

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Na rycinie 10 przedstawiono zestawienie średnich wartości wytrzymałościowych dla badanych zapraw cementowych z dodatkiem włókien polipropylenowych oraz bez nich, w zależności od temperatury wygrzewania.

Figure 10 lists the average strengths for the tested cement mortars with and without the addition of polypropylene fibres depending on the heating temperature.



[*temperatura – temperature; wytrzymałość na zginanie – flexural strength*]

Rycina 10. Zestawienie średnich wartości wytrzymałości na zginanie próbek bez dodatku oraz z dodatkiem włókien polipropylenowych w różnych temperaturach

Figure 10. List of the average flexural strengths of samples with and without the addition of polypropylene fibres at different temperatures

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Po analizie otrzymanych wyników można zauważyć wyraźne umocnienie i wzrost wytrzymałości na zginanie dla próbek zaprawy z dodatkiem włókien PP w temperaturach od 20 do 400°C. W temperaturze 600°C nastąpiło pogorszenie wytrzymałości zarówno dla próbek zaprawy z dodatkiem włókien, jak i bez

The analysis of the results indicates that mortar samples with PP fibres were markedly stronger, and had higher flexural strengths at 20 to 400°C. At 600°C, the strengths declined for mortar samples both with and without PP fibres. Notably, mortars with polypropylene fibres had higher

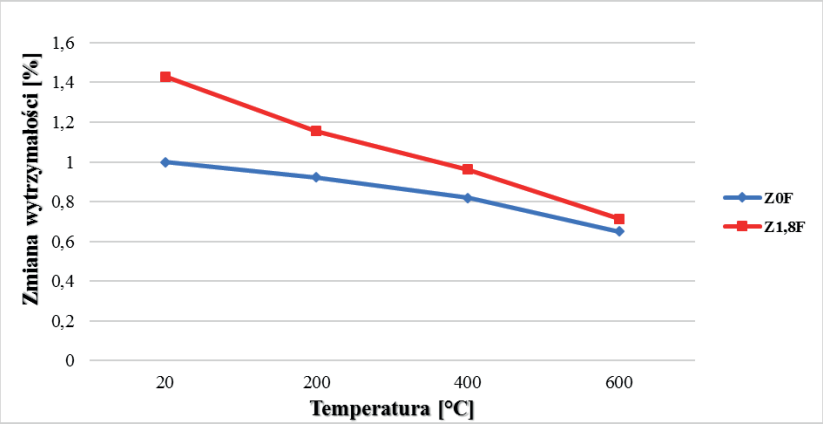
 ISSN 1895-8443

włókien PP. Należy podkreślić, iż w całym zakresie temperatur od 20 do 600°C otrzymano wyższe wartości wytrzymałości na zginanie dla zaprawy z dodatkiem włókien polipropylenowych.

Na ryc. 11 przedstawiono zestawienie spadków wytrzymałości na zginanie w procentach, gdzie wartość 100% stanowi wytrzymałość dla próbek zaprawy bez dodatku włókien polipropylenowych nie poddanych wygrzewaniu.

flexural strengths across the temperature range from 20 to 600°C.

Figure 11 lists the decreases in the flexural strength expressed as a percentage, where 100% represents the strength of unheated mortar samples without the addition of polypropylene fibres.



[*temperature – temperature; zmiana wytrzymałości – change in strength*]

Rycina 11. Zestawienie spadków wytrzymałości na zginanie próbek zaprawy bez dodatku oraz z dodatkiem włókien polipropylenowych w różnych temperaturach (próbka niewygrzewana bez włókien – 100%)

Figure 11. List of decreases in the flexural strength for mortar samples with and without the addition of polypropylene fibres at different temperatures (unheated fibreless sample – 100%)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Przeprowadzone badania wykazały, iż wytrzymałość na zginanie próbek zaprawy poddanych procesowi wygrzewania w temperaturach 200°C, 400°C i 600°C ulega obniżeniu. Warto zauważyć, że dodatek włókien polipropylenowych (jako mikrozbrojenie próbek) sprawił, że wytrzymałość na zginanie była większa w każdym zakresie temperatur. Największa różnica zmiany wytrzymałości (tj. 43%) próbek z dodatkiem (Z1,8F) i bez dodatku włókien (Z0F) wystąpiła w temperaturze normalnej, tj. 20°C. Dowodzi to, że włókna PP dodane do mieszanki betonowej ograniczają powstawanie rys skurczowych oraz mikrodefektów, związanych ze skurczem wczesnym w pierwszej fazie hydratacji cementu i kształtowania się cech wytrzymałościowych. W tym celu niezbędne jest poparcie badań wytrzymałościowych analizą strukturalną (mikroskopową) pozwalającą ocenić zmiany fazowe w zaprawach i objaśnić, jakie procesy zachodzą w kompozycie.

Pozytywny wpływ dodatku włókien polipropylenowych potwierdzono w całym zakresie temperaturowym przeprowadzonych badań, które wykazały, iż zwiększają one wytrzymałość na zginanie kompozytów cementowych poddanych obróbce termicznej.

The tests have shown that the flexural strength of mortar samples declined when heated at 200°C, 400°C and 600°C. The addition of polypropylene fibres (as sample micro-reinforcement), however, caused an increase in the flexural strength across the range of the temperatures studied. The largest change in strength (43%) for samples with (Z1.8F) and without (Z0F) the addition of fibres was found at the normal temperature of 20°C. This proves that the addition of PP fibres reduces contraction cracking and micro-defects associated with early contraction in the first phase of cement hydration and strength formation. Hence, it is necessary to support the strength tests with structural (microscopic) analysis, facilitating an assessment of phase changes in mortars and an explanation of the processes occurring in the composite.

The positive effect of polypropylene fibre addition was confirmed for all the temperatures studied, demonstrating that polypropylene fibres increase the flexural strength of cement composites subjected to thermal treatment.

Wnioski

Po przeprowadzeniu badań wytrzymałości na zginanie zapraw cementowych z dodatkiem i bez dodatku włókien polipropylenowych, poddanych obróbce termicznej sformułowano następujące wnioski:

Conclusions

The flexural strength tests of cement mortars with and without the addition of polypropylene fibres subjected to thermal treatment led to the following conclusions:

1. W całym zakresie temperatur od 20°C do 600°C zaprawy cementowe z dodatkiem włókien polipropylenowych wykazały wyższą wytrzymałość na zginanie.
2. Największe spadki wytrzymałości na zginanie zaobserwowano w temperaturach 400°C oraz 600°C. Redukcja wytrzymałości próbek z dodatkiem włókien PP w temperaturze 400°C względem niewygrzewanych próbek z dodatkiem włókien wyniosła 32,8%, zaś w temperaturze 600°C – 50%. Dla próbek bez dodatku włókien spadek wytrzymałości w temperaturze 400°C wyniósł 18,18%, a w temperaturze 600°C osiągnął wartość 35,06% względem niewygrzewanych próbek bez dodatku włókien.
3. Dodatek włókien polipropylenowych w ilości 1,8 kg/m^3 może znacząco ograniczać powstawanie rys i pęknięć w pierwszej fazie dojrzewania betonu.
4. Wykonane badania potwierdzają zasadność stosowania włókien polipropylenowych do mieszanki betonowej, ponieważ dodatek włókien poprawia wytrzymałość na zginanie zarówno w wysokich temperaturach, jak i w temperaturze normalnej (pokojowej). Pozytywny wpływ włókien polipropylenowych potwierdzają również badania przeprowadzone w kraju i za granicą.

1. Across the range of the temperatures studied, from 20°C to 600°C, cement mortars with polypropylene fibres exhibited higher flexural strengths.
2. The largest decreases in the flexural strength were observed at 400°C and 600°C. The reduction in the strength of samples with PP fibres heated at 400°C and 600°C relative to unheated samples with PP fibres was 32.8% and 50%, respectively. For samples without PP fibres, the strength decreased by 18.18% at 400°C, and by 35.06% at 600°C relative to unheated samples without PP fibres.
3. The addition of 1.8 kg/m^3 of PP fibres can, therefore, significantly reduce cracking in the first phase of concrete hardening.
4. The study has confirmed the practicability of adding PP fibres to the concrete mix, as this improves the flexural strength at both high and normal (room) temperatures. This positive effect of PP fibres has also been proven by other studies conducted in Poland and abroad.

Literatura/Literature

[1] Behnood A., Ghandehari M., *Comparison of compressive and splitting tensile strength of high-strength concrete with and without polypropylene fibers heated to high temperatures*, "Fire Safety Journal" 2009, 44, 8, 1015–1022.

[2] Drzymała T., Jackiewicz-Rek W., Gałaj J., Šukys R.: *Assessment of mechanical properties of high strenght concrete (HSC) after exposure to high temperature*, "Journal of Civil Engineering and Management" 2018, 24(2), 138–144.

[3] Drzymała T., *Wpływ dodatku włókien polipropylenowych do kompozytów cementowych poddanych oddziaływaniu wysokiej temperatury na ich wytrzymałość na rozciąganie*, „Przemysł Chemiczny" 2017, 96(9), 1000–1003.

[4] Drzymała T., Jackiewicz-Rek W., Tomaszewski M., Kuś A., Gałaj J., Šukys R., *Effects of High Temperature on the Properties of High Performance Concrete (HPC)*, Procedia Engineering, 2017, 172, 256–263.

[5] Drzymała T., Ogrodnik P., Zegardło B., *Wpływ oddziaływania wysokiej temperatury na zmianę wytrzymałości na zginanie kompozytów cementowych z dodatkiem włókien polipropylenowych*, „Technika Transportu Szynowego", 2016, 12/, 82–86.

[6] Hager I., Tracz T., *Wpływ wysokiej temperatury na wybrane właściwości betonu wysokowartościowego z dodatkiem włókien polipropylenowych*, „Cement, Wapno, Beton" 2009, 3–10.

[7] Jackiewicz-Rek W., Drzymała T., Kuś A., Tomaszewski M., *Durability of high performance concrete (HPC) subject to fire temperature impact*, "Archives of Civil Engineering", 2016,. LXII, 4, 2/2,73–93.

[8] Kuś. A., Tomaszewski M., Jackiewicz-Rek W., Drzymała T., *Wytrzymałość a trwałość betonów wysokowartościowych po ekspozycji na wysoka temperaturę*, „Materiały Budowlane" 2014, 10, 48–50.

[9] Tomaszewski M., Kuś A., Jackiewicz-Rek W., Drzymała T., *Konsekwencje oddziaływania warunków pożaru na młody beton wysokowartościowy*, „Materiały Budowlane" 2014, 10, 51–53.

[10] Ogrodnik P., Zegardło B., Halicka A., *Wstępna analiza możliwości zastosowania odpadów ceramiki sanitarnej w funkcji kruszywa do betonów pracujących w warunkach wysokich temperatur*, BiTP Vol. 25 Issue 1, 2012, pp. 49–56.

[11] Zegardło B., Ogrodnik P., *Analiza destrukcyjnego wpływu nasączenia wodą na parametry wytrzymałościowe betonów poddanych warunkom pożarowym*, BiTP Vol. 41 Issue 1, 2016, pp. 27–35.

[12] Han C., Hwang Y., Yang S., Gowripalan N., *Performance of spalling resistance of high performance concrete with polypropylene fiber contents and lateral confinement*, "Cement Concrete Research" 2005, 35, 17471753.

[13] Bednarek Z., Drzymała T., *Podstawowe problemy prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych oraz zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego w tunelach*, „Materiały Budowlane" 2014, 10, 175–177.

[14] Drzymała T., *Podstawowe problemy oraz specyfika prowadzenia działań ratowniczo-gaśniczych w tunelach drogowych*, „Logistyka" 2014, 5, 364–370.

[15] Bednarek Z., Drzymała T., Migut A., *Analiza bezpieczeństwa pożarowego w tunelach drogowych i kolejowych*, „Budownictwo Górnicze i Tunelowe" 2014, 4, 8–12.

[16] Bednarek Z., Drzymała T., *Analiza zagrożeń występujących w tunelach komunikacyjnych na skutek eksplozyjnego odpryskiwania betonu*, „Obiekty Inżynierskie"r 2011, 1/(8), 31–39.

[17] Bednarek Z., Drzymała T., *Zagrożenie występowania eksplozyjnego odpryskiwania betonu w czasie pożaru w tunelach komunikacyjnych*, „Logistyka" 2010, 6, 173–184.

[18] Bednarek Z., Drzymała T., *Wpływ temperatur występujących podczas pożaru na wytrzymałość na ściskanie fibrobetonu*, „Zeszyty Naukowe SGSP" 36, 61–84.

[19] Gawin D., Witek A., Pasavento F., *O ochronie betonowej obudowy tunelu przed zniszczeniem w warunkach pożarowych – wyniki projektu UPTUN*, „Inżynieria i Budownictwo" 2006, 11, 622–625

[20] Gawin D., Pasavento F., Majorana C.E., Scherefler B.A., *Modelowanie procesu degradacji betonu w wysokich temperaturach*, „Inżynieria i Budownictwo" 2003, 4, 218–221.

 ISSN 1895-8443

[21] Kalifa P., Chene G., Galle C., *High-temperature behavior of HPC with polypropylene fibers from spalling to microstructure*, "Cement Concrete Research" 2001, 31, 1487–1499.
[22] Półka M., Drzymała T., *Analiza wybranych właściwości palnych włókien polipropylenowych (PP) stosowanych jako dodatek do fibrobetonu w temperaturach pożarowych*, „Przemysł Chemiczny", 2015, 94(10), 1717–1722.
[23] Rudnik E., Drzymała T., *Thermal behavior of polypropylene fiber-reinforced concrete at elevated temperatures*, "Journal of Thermal Analysis and Calorimetry", 2017, 131, 2, 1005–1015.
[24] Jamroży Z., *Beton i jego technologie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Kraków 2000.
[25] Drzymała T., Projekt badawczy *Badanie wpływu temperatur występujących podczas pożaru na wytrzymałość fibrobetonu*, BW/E–422/8/2008SGSP, Warszawa 2008.
[26] Bednarek Z., Drzymała T., Projekt badawczy, *Wpływ temperatur występujących podczas pożaru na wybrane parametry wytrzymałościowe fibrobetonu*, S/E–422/8/2007, I Etap, SGSP, Warszawa 2008.
[27] Drzymała T., Projekt badawczy, *Optymalizacja ilości dodatku włókien polipropylenowych do betonu w celu przeciwdziałania eksplozyjnemu odpryskiwaniu betonu w tunelach komunikacyjnych w trakcie pożarów*, S/E–422/18/14/15/16 SGSP, Warszawa 2014–2016.
[28] Brandt A.M., *Zastosowanie włókien, jako uzbrojenia w elementach betonowych*, Konferencja „Beton, na progu nowego milenium", Kraków 2000, 433–444.
[29] PN-EN 1015-11:2001 Metody badań zapraw do murów Część 11: Określenie wytrzymałości na zginanie i ściskanie stwardniałej zaprawy.
[30] PN-EN 197-1:2002 Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
[31] PN-EN 1008:2004 Woda zarobowa do betonu. Specyfikacja pobierania próbek, badania i oceny wody zarobowej do betonu".
[32] PN-EN 934-2 Domieszki do betonu, zaprawy i zaczynu. Część 2: Domieszki do betonu. Definicje, wymagania, zgodność, znakowanie i etykietowanie.
[33] Karta techniczna włókien Fibrofor High Grade 190.

MŁ. BRYG. DR INŻ. TOMASZ DRZYMAŁA – jest absolwentem studiów magisterskich Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, którą ukończył w 2004 roku na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego. W 2005 roku ukończył studia na kierunku budownictwo na Wydziale Budownictwa i Inżynierii Środowiska ATR w Bydgoszczy. W 2010 roku obronił rozprawę doktorską i otrzymał stopień doktora nauk technicznych w dyscyplinie budownictwo, nadany uchwałą Rady Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Lubelskiej. Od 2011 roku zajmuje stanowisko kierownika Zakładu Podstaw Budownictwa i Materiałów Budowlanych w Katedrze Bezpieczeństwa Budowli i Rozpoznawania Zagrożeń SGSP. W ramach rozwoju naukowego uczestniczy jako prelegent w konferencjach krajowych i zagranicznych, publikuje w czasopismach fachowych. Jest autorem oraz współautorem ponad 100 artykułów i publikacji naukowych o tematyce dotyczącej ochrony przeciwpożarowej oraz budownictwa. Jego główne zainteresowanie skupia się obecnie na badaniu wpływu wysokiej temperatury na zmianę właściwości kompozytów cementowych oraz na komputerowym modelowaniu procesów gaszenia.

DR INŻ. BARTOSZ ZEGARDŁO – absolwent Wydziału Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej (kierunek: budownictwo). Do 2008 roku inżynier budownictwa pełniący funkcję kierownika budowy oraz projektanta. W 2014 roku obronił rozprawę doktorską pt. *Zastosowanie odpadów ceramiki sanitarnej, jako kruszywa do betonów specjalnych*.

DR INŻ. WIOLETTA JACKIEWICZ-REK – prodziekan ds. studenckich na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej. Od 2003 roku pracuje w Zakładzie Inżynierii Materiałów Budowlanych. Jej działalność naukowa związana jest z technologią betonów specjalnych, głównie betonów: wysokopopiołowych, samozagęszczalnych, a ostatnio – nawierzchniowych. W 2010 roku obroniła rozprawę doktorską pt. *Kształtowanie mrozoodporności betonów wysokopopiołowych*. Jest autorką lub współautorką około 70 publikacji z zakresu technologii betonu.

INŻ. DANIEL SOWIŃSKI – absolwent Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, którą ukończył w 2017 roku na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego.

JUN. BRIG. TOMASZ DRZYMAŁA, PH.D., ENG. – graduated with a Master's degree from the Main School of Fire Service in Warsaw, the Faculty of Fire Safety Engineering, in 2004. Earned a construction degree from the Academy of Technology and Agricultural Sciences in Bydgoszcz, the Faculty of Construction and Environmental Engineering, in 2005. Defended his doctoral dissertation and earned the degree of Doctor of Science in the field of construction, awarded under a resolution of the Council of the Faculty of Construction and Architecture of the Lublin University of Technology, in 2010. Since 2011 he has been heading the Faculty of Construction and Construction Materials Basics at the Department of Structural Safety and Risk Identification, the Main School of Fire Service. As a researcher, he has spoken at conferences in Poland and abroad, and published in specialist journals. He has authored and co-authored more than 100 papers and research publications on fire prevention and construction. Currently, his main focus is on investigating the effect of high temperatures on changes to the properties of cement composites, and on computer-based modelling of extinguishing processes.

BARTOSZ ZEGARDŁO, PH.D, ENG. – graduated in construction from the Faculty of Civil Engineering, the Warsaw University of Technology. Worked as a site manager and designer until 2008. Defended his doctoral dissertation entitled *The application of ceramic sanitary ware waste as aggregate for special-purpose concrete* in 2014.

WIOLETTA JACKIEWICZ-REK, PH.D, ENG. – Deputy Dean for Student Affairs at the Faculty of Civil Engineering, the Warsaw University of Technology. Has been with the Institute of Construction Material Engineering since 2003. As a researcher, she has been primarily concerned with special-purpose concrete technology, including mainly high-volume fly ash concrete, self-compacting concrete and, most recently, pavement-quality concrete. Defended her doctoral dissertation entitled *Developing the freeze-thaw durability of high-volume fly ash concrete* in 2010. She has authored or co-authored about 70 publications on concrete technology.

DANIEL SOWIŃSKI, ENG. – graduated from the Main School of Fire Service in Warsaw, the Faculty of Fire Safety Engineering, in 2017.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

dr inż. Szymon Seręga[a)]*

[a)] *Politechnika Krakowska / Cracow University of Technology*
**Autor korespondencyjny / Corresponding author: szymon.serega@pk.edu.pl*

Numeryczna predykcja odporności ogniowej elementów strunobetonowych

Numerical Prediction of the Fire Resistance of Pretensioned Structural Elements

Численное прогнозирование огнестойкости предварительно напряженных железобетонных конструкций

ABSTRAKT

Cel: Głównym celem artykułu jest przedstawienie modelu obliczeniowego elementów strunobetonowych poddanych oddziaływaniu obciążeń mechanicznych oraz temperatury pożarowej. W pracy skupiono się na porównaniu wyników obliczeń przeprowadzonych z zastosowaniem różnych podejść do modelowania efektów reologicznych wywołanych oddziaływaniem wysokiej temperatury. Przeanalizowano dwie metody opisu pełzania betonu w niestacjonarnym polu termicznym oraz pełzania stali zbrojeniowej zwykłej i sprężającej: bezpośrednią oraz pośrednią. Zaproponowano prosty sposób wyodrębnienia odkształcenia pełzania ze związków konstytutywnych stali sprężającej rekomendowanych w Eurokodzie 2. Przeprowadzono symulacje obliczeniowe dwóch typów konstrukcji: strunobetonowych płyt stropowych ogrzewanych od spodu oraz strunobetonowych belek ogrzewanych z trzech stron.

Metody: W analizie konstrukcji wykorzystano podejście obliczeniowe obejmujące jedno- lub dwuwymiarową analizę termiczną na poziomie przekroju poprzecznego oraz jednowymiarową analizę mechaniczną (element belkowy) na poziomie konstrukcji – model 2Dθ+1DM. Symulacje obliczeniowe uwzględniały zmiany sztywności konstrukcji w wyniku degradacji termicznej parametrów materiałowych oraz rozwoju odkształceń reologicznych z wykorzystaniem podejścia opartego na siecznych sztywnościach. Pola temperatury oraz pola sił mechanicznych obliczono metodą elementów skończonych.

Wyniki: Uzyskane wyniki obliczeń porównano z dostępnymi w literaturze rezultatami badań eksperymentalnych. Zaobserwowano, że modele materiału opisujące pełzanie stali w sposób bezpośredni prowadzą do wyników bardziej zgodnych z eksperymentem niż modele typu pośredniego. Analiza wykresów maksymalne ugięcie przęsła – czas trwania pożaru pokazuje, że model stali typu pośredniego prowadzi do bardziej sztywnej odpowiedzi konstrukcji w porównaniu z modelami typu bezpośredniego.

Wnioski: Przedstawiona analiza obliczeniowa oparta na siecznej sztywności dobrze odtwarza zachowanie się elementów strunobetonowych w sytuacji jednoczesnego obciążenia mechanicznego i obciążenia wysoką temperaturą. W zakresie deformacji modele pełzania stali zbrojeniowej i sprężającej typu bezpośredniego prowadzą do rezultatów bardziej zgodnych z eksperymentem niż modele opisujące to zjawisko w sposób pośredni. Model pełzania stali typu pośredniego prowadzi do niekonserwatywnego oszacowania odporności ogniowej, jednakże uzyskane przeszacowanie odporności ogniowej nie jest istotne z praktycznego punktu widzenia.

Słowa kluczowe: niestacjonarne pełzanie betonu, pełzanie stali, odporność ogniowa, strunobeton
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 26.062018; Zrecenzowany: 24.09.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;
Identyfikator ORCID: 0000-0002-1040-6077;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 40–59, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.3;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The main aim of this paper is to present a computational approach to modelling pretensioned concrete structures subjected to mechanical loads and fire temperature. The work focuses on the comparison between results of calculations obtained for explicit and implicit approaches to the modelling of high temperature rheological effects, i.e. transient creep of concrete and creep of reinforcing and prestressing steel. A simple method for the extraction of creep strains from Eurocode 2 stress-strain relations is proposed. Numerical simulations of two types of structures were performed: the pretensioned one-way slab heated from below and pretensioned three-face heated beams.

Methods: The presented approach includes one- and two-dimensional thermal analyses at the cross-section level and a one-dimensional mechanical analysis (beam element) at the structural level – 2Dθ+1DM model. The secant stiffness approach was applied in the numerical simulations in order to take into account changes in the stiffness of the structure resulting from the thermal degradation of material parameters and development of rheological deformations. Thermal and mechanical fields were calculated using the finite element method.

Results: The results of calculations were compared with the experiments available in the literature. It was observed that a better agreement between calculations and tests was obtained if the creep of steel was modelled using the explicit approach. The analysis of the heating time / maximum deflection diagrams shows that the implicit model of steel leads to a more rigid response of the structure in comparison to the explicit approach.
Conclusions: The presented numerical analysis based on the secant stiffness approach is able to reproduce the behaviour of pretensioned concrete elements subjected to mechanical and thermal loads. The explicit high temperature creep models provide results that are in a better agreement with experiments than the outcomes of the implicit approach. The implicit creep model of prestressing steel also overestimates the fire resistance of the analysed structures. It should be noted, however, that this overestimation is not very important from the practical point of view.
Keywords: transient creep of concrete, creep of steel, fire resistance, pretensioned concrete
Type of article: original scientific article

Received: 26.06.2018; Reviewed: 24.09.2018; Accepted: 05.11.2018;
Author's ORCID ID: 0000-0002-1040-6077;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 40–59, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.3;
This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: Основная цель статьи – представить вычислительную модель предварительно напряженных бетонных элементов, подверженных механическим нагрузкам и температуре огня при пожаре. В статье основное внимание уделяется сравнению результатов расчетов, проведенных с использованием различных подходов к моделированию реологических эффектов, вызванных воздействием высоких температур. Были исследованы два метода описания бетонной ползучести в нестационарном тепловом поле, а также ползучести обычной и предварительно напряженной арматурной стали: прямой и косвенный. Предложен простой способ выделения деформации ползучести из составных соединений предварительно напряженной стали, рекомендованный в Еврокоде 2. Были проведены компьютерные моделирования двух типов конструкций: предварительно напряженных бетонных перекрытий, нагретых снизу, и предварительно напряженных балок, нагретых с трех сторон.
Методы: В анализе конструкции был использован вычислительный подход, включающий одно- или двумерный термический анализ на уровне поперечного сечения и одномерный механический анализ (балочный элемент) на уровне конструкции - модель 2Dθ + 1DM. В вычислительных симуляциях учтены изменения жесткости структуры в результате термической деградации параметров материала и развития реологических деформаций с использованием подхода, основанного на секущей жесткости. Температурные поля и поля механической силы были рассчитаны с использованием метода конечных элементов.
Результаты: Полученные результаты расчетов были сопоставлены с результатами экспериментальных исследований, доступных в литературе. Было замечено, что модели материала, описывающие ползучесть стали прямым способом, приводят к более совместимым с экспериментом результатам, чем модели косвенного типа. Графический анализ максимальное отклонение пролета – продолжительность пожара показывает, что модель стали косвенного типа приводит к более жесткой реакции конструкции по сравнению с моделями прямого типа.
Выводы: Представленный вычислительный анализ, основанный на секущей жесткости, хорошо воспроизводит поведение предварительно напряженных бетонных элементов в ситуации одновременной механической нагрузки и высокотемпературной нагрузки. В области деформации модели ползучести арматурной и предварительно напряженной стали прямого типа приводят к результатам, более совместимым с экспериментом, чем модели, описывающие это явление косвенно. Модель ползучести сталей косвенного типа приводит к неконсервативной оценке огнестойкости, однако полученная переоценка огнестойкости не имеет практического значения.
Ключевые слова: нестационарная ползучесть бетона, ползучесть стали, огнестойкость и предварительно напряженный бетон
Тип статьи: оригинальная научная статья

Принята: 26.06.2018; Рецензирована: 24.09.2018; Одобрена: 05.11.2018;
Идентификатор ORCID автора: 0000-0002-1040-6077;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 40–59, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.3;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Wprowadzenie

Spełnienie kryteriów dla odpowiedniej klasy odporności pożarowej, obok nośności, trwałości i użytkowalności, to podstawowy wymóg stawiany budynkom w Prawie budowlanym [1]. Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [2] precyzuje klasy odporności pożarowej budynków w zależności od przeznaczenia obiektu, jego wysokości, kategorii zagrożenia ludzi lub gęstości obciążenia ogniowego. W czasie

Background

Meeting the criteria for the appropriate fire resistance class, in addition to load capacity, durability and serviceability, is the basic requirement for buildings specified in the Construction Law [1]. The Regulation of the Minister of Infrastructure on technical conditions to be met by buildings and their location [2] specifies fire resistance classes for buildings depending on their purpose, height, fire hazard category and fire load density. In the time required for a specific fire resistance class, structural

wymaganym przez daną klasę odporności pożarowej elementy konstrukcji muszą wykazać się odpowiednią nośnością ogniową (R), a jeżeli jest to konieczne (np. w przypadku stropów), spełnić także wymagania izolacyjności (I) i szczelności ogniowej (E).

W obowiązujących przepisach normowych dotyczących konstrukcji z betonu [3] określono szereg metod pozwalających na zaprojektowanie elementów konstrukcji budowli pod względem spełnienia kryterium nośności ogniowej. Metody te można podzielić na cztery kategorie. Pierwszą z nich stanowią metody deskryptywne – tablicowe. W ich przypadku należy wykazać, że dany element konstrukcyjny spełnia warunki geometryczne (minimalny wymiar przekroju, minimalna otulina) odpowiadające wymaganemu kryterium R. Do kategorii drugiej można zaliczyć wszystkie metody uproszczone analizy nośności na poziomie lokalnym (przekroju) – np. metodę zredukowanego przekroju (zob. np. [4], [5]). Kategoria trzecia obejmuje swoim zakresem zaawansowane modelowanie konstrukcji uwzględniające sprzężone ze sobą zagadnienia termiczno-wilgotnościowo-mechaniczne (np. [6]). Do ostatniej kategorii można zaliczyć określanie odporności ogniowej w oparciu o badania eksperymentalne konstrukcji lub jej elementów (np. [7]).

W praktyce projektowej konstruktorzy najczęściej wykorzystują metody tablicowe, pozwalające szybko ocenić poprawność wymiarów konstrukcji z uwagi na odporność ogniową. Należy mieć na uwadze, że metody tablicowe charakteryzują się szeregiem ograniczeń. Między innymi nie uwzględniają parametrów, takich jak: scenariusz pożaru, kształt przekroju poprzecznego, konfiguracja rozmieszczenia prętów zbrojenia w przekroju. Odporność ogniowa ustalona z wykorzystaniem metody tablicowej jest z natury rzeczy zgrubnym oszacowaniem rzeczywistej zdolności konstrukcji do zachowania funkcji nośnej w sytuacji pożaru.

W przypadku konstrukcji sprężonych, zwłaszcza katalogowych konstrukcji prefabrykowanych, do których można zaliczyć przede wszystkim elementy strunobetonowe, racjonalne jest określanie odporności ogniowej w oparciu o obliczenia. Pozwala to na uwzględnienie wszystkich aspektów konstrukcyjnych oraz, jeżeli zajdzie taka potrzeba, możliwie realnych scenariuszy pożaru. Wiarygodna metoda określania odporności ogniowej konstrukcji żelbetowych i sprężonych jest również istotna w przypadkach działalności eksperckiej, np. przy adaptacji istniejących obiektów do nowej funkcji zmieniającej klasę odporności pożarowej obiektu lub wydzielonych w obiekcie stref pożarowych.

Mając na uwadze powyższe spostrzeżenia, w artykule przedstawiono metodę obliczeniową odporności ogniowej belek lub jednokierunkowo pracujących płyt sprężonych. Zaprezentowane podejście obliczeniowe obejmuje jedno- lub dwuwymiarową analizę termiczną na poziomie przekroju poprzecznego konstrukcji oraz jednowymiarową analizę mechaniczną (element belkowy) [8–10]. Stąd podejście obliczeniowe może być nazwane 2Dθ+1DM [11]. Prezentowana metoda uwzględnia degradację właściwości mechanicznych betonu oraz stali zwykłej i sprężającej w wyniku oddziaływania pożaru. W artykule oprócz zagadnień algorytmicznych metody 2Dθ+1DM przedyskutowano także wpływ sposobu modelowania pełzania betonu w niestacjonarnych warunkach termicznych oraz wysokotemperaturowego

elements must fulfil the required fire load capacity (R) and, when necessary (e.g. in the case of ceilings), they must also meet insulation (I) and integrity (E) requirements.

The currently binding codes referring to concrete structures [3] specify a number of methods for designing elements of structures to ensure that they meet the fire load capacity criterion. These methods can be divided into four categories. The first category includes descriptive (tabular) methods. In their case it is necessary to demonstrate that a given structural element meets the geometric conditions (minimum dimension of a cross-section, minimum concrete cover) for the relevant R criterion. The second category includes all simplified load capacity analyses at the local (cross-section) level, e.g. the reduced cross-section method (see e.g. [4], [5]). The third category covers advanced structure modelling taking into account the copuled temperature, humidity and mechanical fields (e.g. [6]). The last category includes the determination of fire resistance on the basis of the experimental tests of structures or their elements (e.g. [7]).

In the design practice structural engineers most often use tabular methods enabling fast assessment of structure dimensions with regard to their fire resistance. It should be borne in mind that tabular methods have numerous limitations. Among others, they do not take into consideration such parameters as the fire scenario, the shape of the cross-section or the arrangement of reinforcing bars in the cross-section. Fire resistance determined with the use of tabular methods is generally a rough estimate of the actual structure's ability to maintain its load-capacity properties in the case of fire.

For prestressed structures, especially prefabricated catalogue structures, which include primarily pretensioned concrete elements, it is reasonable to determine fire resistance on the basis of calculations. This makes it possible to consider all structural aspects and, when necessary, realistic fire scenarios. A reliable method for determining the fire resistance of reinforced concrete and prestressed structures is also crucial in expert projects, e.g. during the adaptation of an existing building to a new function changing the fire resistance class of the building or fire zones identified in the building.

Taking the above into consideration, the article presents a calculation method for the fire resistance of beams or one-way prestressed slabs. The presented calculation approach covers one- or two-dimensional thermal analysis at the level of the structure's cross-section and one-dimensional mechanical analysis (the beam element) [8–10]. Therefore, the calculation approach can be referred to as 2Dθ+1DM [11]. The presented method takes into consideration the degradation of the mechanical properties of concrete, reinforcing and prestressing steel. In addition to the algorithmic aspects of the 2Dθ+1DM method, the article discusses the influence of modeling method of transient creep of concrete and high temperature creep of reinforcing and prestressing steel on the mechanical response and fire resistance of the structure. The paper examines an approach which takes into account creep strains according to an explicit (EM method) and through stress-strain physical relationships formulated on the basis of tests in transient thermal conditions (implicit method – IM).

ISSN 1895-8443

pełzania stali sprężającej i zwykłej na odpowiedź mechaniczną i odporność ogniową konstrukcji. Rozpatrzono podejście uwzględniające odkształcenia pełzania w sposób bezpośredni – metoda *explicit* (EM) oraz pośredni – *implicit* (IM) – poprzez skonstruowane na podstawie badań w niestacjonarnych warunkach termicznych związki fizyczne naprężenie – odkształcenie. Podejście pośrednie (IM) stanowi podstawę związków fizycznych w Eurokodzie 2-1-2 [3]. Wyniki obliczeń zostały porównane z dostępnymi rezultatami badań doświadczalnych. Przedstawiona analiza obliczeniowa pozwoliła na ocenę modeli materiałowych zaproponowanych w przepisach normowych [3] w odniesieniu do strunobetonowych elementów konstrukcyjnych.

The indirect approach (IM) forms the basis for physical relationships in Eurocode 2-1-2 [3]. Calculation results were compared with the available results of experimental tests. The presented computational analysis made it possible to assess material models proposed in standards [3] in relation to pretensioned structural elements.

Analiza obliczeniowa konstrukcji prętowych w sytuacji pożaru

Założenia metody obliczeniowej 2Dθ+1DM

Elementy strunobetonowe są to zazwyczaj konstrukcje prętowe lub jednokierunkowo pracujące elementy płytowe. Można więc przyjąć założenie, że prawdziwa jest hipoteza płaskich przekrojów w całym procesie obciążenia mechanicznego i ogrzania. Pole odkształceń całkowitych, normalnych do przekroju poprzecznego elementu, wyraża się zatem wzorem:

$$\varepsilon(z) = \kappa z + \varepsilon_0 \tag{1}$$

Gdzie: κ oznacza krzywiznę, ε_0 – odkształcenie w środku ciężkości przekroju betonowego, z jest osią przekroju prostopadłą do wektora momentu zginającego. Element konstrukcyjny redukowany jest zatem do linii środkowej oraz do przekroju poprzecznego. Efektywna analiza termiczno-mechaniczna wymaga dodatkowych, następujących założeń upraszczających:

1) Pola mechaniczne i termiczne są rozprzężone;
2) Istnieje pełna kompatybilność pomiędzy odkształceniami betonu, stali zbrojeniowej i sprężającej;
3) Pomija się wpływ usztywnienia betonu pomiędzy rysami;
4) Pomija się zaburzenia w polach termicznych spowodowane zbrojeniem poprzecznym;
5) Zaniedbany jest wpływ pól wilgotnościowych na wartości temperatury w rozpatrywanych miejscach przekroju poprzecznego, jak również oddziaływanie ciśnienia porowego na szkielet betonu;
6) Przepływ ciepła w przekroju poprzecznym obliczany jest z pominięciem stali zbrojeniowej; temperatura wkładek zbrojeniowych i splotów jest równa temperaturze betonu w miejscu położenia środka ciężkości wkładki zbrojeniowej lub splotu;
7) Wpływ samorównoważących się naprężeń o kierunkach normalnych do osi podłużnej elementu, będących wynikiem gradientu temperatury jest pominięty;
8) Wpływ skrępowania elementu w kierunku podłużnym jest pomijalnie mały;
9) W obliczeniach przyjmuje się, że beton jest zabezpieczony przed możliwością eksplozyjnego odpryskiwania.

W oparciu o powyższe założenia uogólnione wielkości kinematyczne κ i ε_0 wyznacza się z równań równowagi dla każdej

Computational analysis of beam structures in the case of fire

Assumptions for the 2Dθ+1DM computational method

Pretensioned concrete elements usually comprise beam structures and one-way slab elements. It is possible to assume that the plane section hypothesis is true for the whole process of mechanical and thermal load. The total strains field normal to the cross-section of the element is calculated with the following formula:

$$\varepsilon(z) = \kappa z + \varepsilon_0 \tag{1}$$

Where: κ means the curvature, ε_0 – strain in the centre of gravity of the cross-section, and z is the section axis perpendicular to the vector of the bending moment. The structural element is therefore reduced to the central axis and to the cross-section. An effective thermal and mechanical analysis requires the following additional simplifying assumptions:

1) The mechanical and thermal fields are uncoupled;
2) The strains of concrete and reinforcing and prestressing steel are fully compatible;
3) The effect of concrete tension stiffening between cracks is disregarded;
4) Disruptions in thermal fields caused by transverse reinforcement are disregarded;
5) The influence of humidity fields on temperature values in the considered cross-section points is disregarded, and so is the influence of pore pressure on the concrete skeleton;
6) The flow of heat in the cross-section is calculated without taking reinforcing steel into consideration; the temperature of reinforcing bars and strands is equal to the temperature of concrete in the point where the centre of gravity of the reinforcing bar or strand is placed;
7) The effect of self-balancing stresses with directions normal to the longitudinal axis of the element resulting from the temperature gradient is not taken into account;
8) The effect of the element's constrainment in the longitudinal direction is negligible;
9) In the calculations it is assumed that concrete is protected from explosive spalling.

Based on the above assumptions, generalised kinematic values κ and ε_0 are determined using balance equations for

chwili czasowej. Deformacje obliczane są na podstawie siecznych sztywności wyznaczanych z zależności moment zginający – krzywizna.

Analiza termiczna

Przyjęte założenia obliczeniowe dotyczące rozprzężenia pól termicznych i mechanicznych pozwalają na sekwencyjną analizę termiczno-mechaniczną. Efekt ogrzewania w wyniku pożaru opisany jest gęstością strumienia cieplnego o kierunku normalnym do powierzchni elementu konstrukcji narażonej na oddziaływanie wysokiej temperatury. Gęstość strumienia ciepła opisuje wymianę ciepła pomiędzy pomieszczeniem objętym pożarem a konstrukcją w wyniku unoszenia gorących gazów (część konwekcyjna) oraz w wyniku promieniowania źródła pożaru. W przekroju poprzecznym transport ciepła odbywa się poprzez przewodzenie zgodnie z prawem Fouriera. Zmienne w czasie pola temperatury wyznacza się poprzez rozwiązanie równania bilansu ciepła:

$$\dot{\theta}\rho_c(\theta)c_p(\theta)=\nabla\left(\lambda_c(\theta)\nabla\theta\right),\quad \nabla=\left[\frac{\partial}{\partial y},\frac{\partial}{\partial z}\right] \tag{2}$$

Gdzie: ρ_c jest zależną od temperatury gęstością betonu, c_p jest ciepłem właściwym, λ_c jest zależnym od temperatury współczynnikiem przewodzenia ciepła, θ oznacza temperaturę. Do rozwiązania równania (2) należy określić warunek początkowy $\theta(t=0)=\theta_0$ oraz wspomniane wyżej warunki brzegowe:

$$\begin{aligned} q_k &= \alpha_k\left(\theta_f-\theta_s\right)\\ q_r &= \phi\bar{\varepsilon}_s\bar{\varepsilon}_f\sigma_{SB}\left[\left(\theta_f+273\right)^4-\left(\theta_s+273\right)^4\right] \end{aligned} \tag{3}$$

W równaniu (3) q_k, q_r są gęstościami strumienia ciepła przekazywanego odpowiednio przez konwekcję i promieniowanie, θ_f jest temperaturą pożaru (gazów i źródła promieniowania), θ_s jest temperaturą powierzchni, α_k jest współczynnikiem przekazywania ciepła przez konwekcję, ϕ jest współczynnikiem konfiguracji (zacienienia), a $\bar{\varepsilon}_s$, $\bar{\varepsilon}_f$, σ_{SB} to odpowiednio emisyjność powierzchni elementów konstrukcji, emisyjność pożaru oraz stała Stefana-Boltzmana.

Analiza mechaniczna

Związki konstytutywne betonu

W sytuacji incydentalnego oddziaływania pożaru beton w konstrukcji jest zazwyczaj ogrzewany po raz pierwszy. Wówczas całkowite odkształcenie można przedstawić jako sumę swobodnego odkształcenia termicznego $\varepsilon_{th.c}$, odkształcenia mechanicznego ε_m (zarówno sprężystego, jak i plastycznego), odkształcenia pełzania w niestacjonarnych warunkach termicznych $\varepsilon_{tr.c}$ oraz bazowego odkształcenia pełzania $\varepsilon_{creep.c}$:

$$\varepsilon=\varepsilon_{th.c}(\theta)+\varepsilon_m(\sigma,\theta)+\varepsilon_{tr.c}(\sigma,\theta)+\varepsilon_{creep.c}(\sigma,\theta,t) \tag{4}$$

Odkształcenie pełzania w warunkach stacjonarnych $\varepsilon_{creep.c}$ ma stosunkowo niewielką wartość w porównaniu z pozostałymi składowymi równania (4) i może być pominięte w analizie konstrukcji w sytuacji pożaru.

each moment in time. Deformations are calculated on the basis of secant stiffness values obtained from the bending moment – curvature relationship.

Thermal analysis

The adopted computational assumptions referring to the decoupling of thermal and mechanical fields make it possible to perform a sequential thermal and mechanical analysis. The heating effect resulting from fire is described by the heat flux with a direction normal to the surface of the structural element exposed to high temperature. The heat flux describes the heat exchange between the room covered with fire and the structure as a result of the upward movement of hot gases (the convection part) and as a result of the fire source radiation. In the cross-section the transport of heat is by conduction according to Fourier's law. The transient temperature field are determined by solving the heat balance equation:

$$\dot{\theta}\rho_c(\theta)c_p(\theta)=\nabla\left(\lambda_c(\theta)\nabla\theta\right),\quad \nabla=\left[\frac{\partial}{\partial y},\frac{\partial}{\partial z}\right] \tag{2}$$

Where: ρ_c is temperature-dependent concrete density, c_p is specific heat, λ_c is temperature-dependent thermal conductivity, and θ means temperature. In order to solve the equation (2), the initial condition $\theta(t=0)=\theta_0$ and the aforementioned boundary conditions must be defined:

$$\begin{aligned} q_k &= \alpha_k\left(\theta_f-\theta_s\right)\\ q_r &= \phi\bar{\varepsilon}_s\bar{\varepsilon}_f\sigma_{SB}\left[\left(\theta_f+273\right)^4-\left(\theta_s+273\right)^4\right] \end{aligned} \tag{3}$$

In the equation (3), q_k and q_r are heat fluxes due to convection and radiation, respectively, θ_f is the temperature of the fire (gases and radiation source), θ_s is the surface temperature, α_k is the coefficient of heat transfer by convection, ϕ is the configuration (shading) coefficient, and $\bar{\varepsilon}_s$, $\bar{\varepsilon}_f$ and σ_{SB} are respectively the emissivity of structural elements' surface, emissivity of the fire, and Stefan-Boltzman's constant.

Mechanical analysis

Constitutive relations of concrete

In the case of fire, concrete in a structure is usually heated for the first time. The total strain can then be presented as a sum of free thermal strain $\varepsilon_{th.c}$, mechanical strain ε_m (both elastic and plastic), transient creep strain $\varepsilon_{tr.c}$ and the basic creep strain $\varepsilon_{creep.c}$:

$$\varepsilon=\varepsilon_{th.c}(\theta)+\varepsilon_m(\sigma,\theta)+\varepsilon_{tr.c}(\sigma,\theta)+\varepsilon_{creep.c}(\sigma,\theta,t) \tag{4}$$

Basic creep strain $\varepsilon_{creep.c}$ has a relatively low value in comparison with other constituents of the equation (4) and can be disregarded in the structure analysis in the case of fire.

ISSN 1895-8443

W podejściu przyjętym w przepisach normowych [3] odkształcenia pełzania $\varepsilon_{tr.c}$ modelowane są pośrednio (IM) poprzez odpowiednią konstrukcję związków fizycznych naprężenie – odkształcenie na podstawie testów pełzania betonu w niestacjonarnym polu termicznym przy stałym naprężeniu. Sposób konstrukcji związków naprężenie – odkształcenie tego typu jest analogiczny do budowy izochronicznych krzywych $\sigma \sim \varepsilon$ w teorii reologii. Oznacza to, że odkształcenie $\varepsilon_{tr.c}$ w podejściu IM jest zawarte w odkształceniu ε_m. Związek fizyczny betonu w podejściu IM opisany jest krzywą Popovic'a i ma postać (ryc. 1a) [3]:

$$\sigma(\varepsilon_m,\theta) = f_c(\theta)\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{c1}(\theta)}\cdot\frac{n}{n-1+\left(\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{c1}(\theta)}\right)^n} \tag{5}$$

gdzie $f_c(\theta)$ jest zależną od temperatury wytrzymałością betonu na ściskanie – ryc. 1b, $\varepsilon_{c1}(\theta)$ jest odkształceniem, przy którym osiągana jest wartość $f_c(\theta)$ – ryc. 1b, *n* jest równy 3,0.

W podejściu EM odkształcenie pełzania w niestacjonarnych warunkach termicznych występuje w sposób jawny. Odkształcenie $\varepsilon_{tr.c}$ wyraża się powszechnie akceptowaną formułą (np.: [12], [13]), w której prędkość (przyrost) odkształceń $\varepsilon_{tr.c}$ jest wprost proporcjonalna do aktualnego stanu naprężenia σ oraz do prędkości (przyrostu) temperatury $\dot{\theta}$:

$$\dot{\varepsilon}_{tr.c}(\sigma,\theta) = \omega(\sigma)k_{tr}(\theta)\frac{\sigma}{f_c}\dot{\theta} \tag{6}$$

gdzie: f_c oznacza wytrzymałość betonu na ściskanie w temperaturze zwykłej. Współczynnik proporcjonalności k_{tr} zależy od temperatury, a jego wartość jest ustalana doświadczalnie. Parametr $\omega(\sigma)$ przyjmuje wartość 1,0 w przypadku naprężeń ściskających oraz wartość 0 dla rozciągania. Odkształcenie $\varepsilon_{tr.c}$ ma charakter trwały, tzn. pozostaje po zdjęciu obciążenia oraz nie zmniejsza się w sytuacji, gdy $\dot{\theta} < 0$ (chłodzenie).

W celu umożliwienia porównania wpływu podejścia do modelowania odkształceń pełzania betonu w niestacjonarnych warunkach termicznych metodą EM oraz IM konieczne jest przyjęcie stałych materiałowych w oparciu o tę samą rodzinę badań doświadczalnych. Prawa fizyczne w modelu IM zostały zaczerpnięte wprost z Eurokodu 2-1-2 [3], stanowią zatem wypadkową wielu badań doświadczalnych będących podstawą przepisów normowych. W pracy [14] podano metodę wyodrębnienia odkształcenia $\varepsilon_{tr.c}$ ze związków fizycznych typu IM. Pozwala to na ustalenie parametru k_{tr} we wzorze (6) w następującej postaci:

$$k_{tr}(\theta) = 0.01\begin{cases} 2A\cdot\left(\frac{\theta-20°C}{100°C}\right)+B & \theta \le \theta_0 \\ 2C\cdot\left(\frac{\theta-\theta_0}{100°C}\right)+2A\cdot\left(\frac{\theta_0-20°C}{100°C}\right)+B & \theta > \theta_0 \end{cases} \tag{7}$$

gdzie: $A = 0{,}03\%$, $B = 0{,}025\%$, $C = 0{,}65\%$, $\theta_0 = 440°C$. W modelu EM wykorzystane są zależności naprężenie – odkształcenie w postaci równania (5) z parametrem $n = 2$. Odkształcenie $\varepsilon_{c1}(\theta)$ w modelu EM przyjęte jest równe dolnym wartościom według prenormy [15] – ryc. 1b.

Beton w obszarze naprężeń rozciągających opisany jest zależnością wielomianowo-wykładniczą według [16]. Względna wytrzymałość betonu na rozciąganie została przyjęta zgodnie z [3], natomiast energia pękania betonu została dobrana w oparciu o pracę [17].

In the approach adopted in standards [3], creep strains $\varepsilon_{tr.c}$ are modelled indirectly (IM) through construction of stress-strain physical relationships on the basis of concrete creep tests in a transient thermal field with constant stress. The way of constructing the stress-strain physical relationships corresponds to constructing isochronic curves $\sigma \sim \varepsilon$ in the rheology. This means that strain $\varepsilon_{tr.c}$ in the IM approach is included in strain ε_m. The physical relationship of concrete in the IM approach is described by Popovic's curve and takes the form of (Fig. 1a) [3]:

$$\sigma(\varepsilon_m,\theta) = f_c(\theta)\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{c1}(\theta)}\cdot\frac{n}{n-1+\left(\frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_{c1}(\theta)}\right)^n} \tag{5}$$

where $f_c(\theta)$ is temperature-dependent compressive strength of concrete – Fig. 1b, $\varepsilon_{c1}(\theta)$ is strain at which value $f_c(\theta)$ is reached – Fig. 1b, and *n* is equal to 3.0.

In the EM approach, transient creep strain is explicit. Strain $\varepsilon_{tr.c}$ is expressed by a commonly accepted formula (e.g. [12], [13]), in which the rate (increase) of strains $\varepsilon_{tr.c}$ is proportional to the current stress level σ and the rate (increase) of temperature $\dot{\theta}$:

$$\dot{\varepsilon}_{tr.c}(\sigma,\theta) = \omega(\sigma)k_{tr}(\theta)\frac{\sigma}{f_c}\dot{\theta} \tag{6}$$

where: f_c means the compressive strength of concrete at normal temperature. The proportionality coefficient k_{tr} depends on temperature, and its value is determined experimentally. Parameter $\omega(\sigma)$ takes the value of 1.0 in the case of compressive stresses, and the 0 value for tension. Strain $\varepsilon_{tr.c}$ is irreversible, i.e., it is present after removing the load and is not reduced when $\dot{\theta} < 0$ (cooling).

In order to enable a comparison of the impact of the approach to modelling concrete creep strain in transient thermal conditions using the EM and IM methods it is necessary to adopt material constants on the basis of the same family of experimental tests. Physical laws in the IM model were derived directly from Eurocode 2-1-2 [3], so they are a product of numerous experimental studies forming the basis of standards. The study [14] presents a method of isolating strain $\varepsilon_{tr.c}$ from type IM physical relationships. This makes it possible to determine parameter k_{tr} in formula (6) as follows:

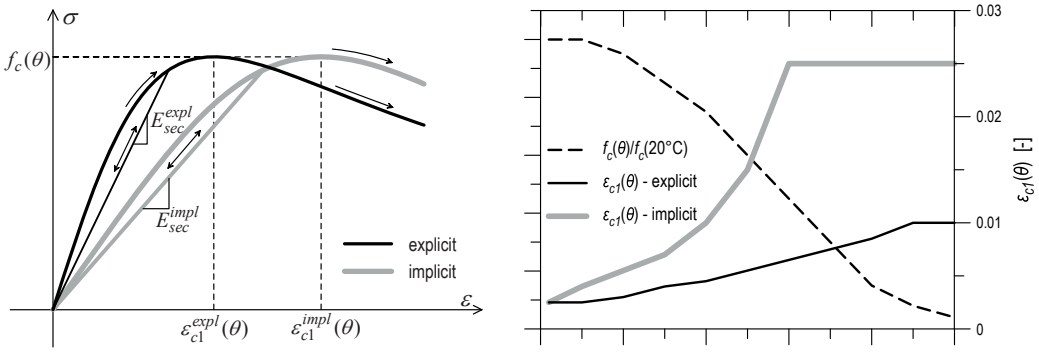
$$k_{tr}(\theta) = 0.01\begin{cases} 2A\cdot\left(\frac{\theta-20°C}{100°C}\right)+B & \theta \le \theta_0 \\ 2C\cdot\left(\frac{\theta-\theta_0}{100°C}\right)+2A\cdot\left(\frac{\theta_0-20°C}{100°C}\right)+B & \theta > \theta_0 \end{cases} \tag{7}$$

where: $A = 0.03\%$, $B = 0.025\%$, $C = 0.65\%$, $\theta_0 = 440°C$. In EM model relationships in the form of equation (5) are used with parameter $n = 2$. Strain $\varepsilon_{c1}(\theta)$ in the EM model is equal to the lower values according to prenorm [15] – Fig. 1b.

In tension, concrete is described with a polynomial-exponential relationship according to [16]. The relative tensile strength of concrete was adopted according to [3], while fracture energy of concrete was determined on the basis of [17].

Swobodne odkształcenie termiczne $\varepsilon_{th.c}$ jest funkcją temperatury i rodzaju kruszywa grubego. W dalszych obliczeniach przyjęto zależność zgodnie z [3] jak dla betonu na kruszywie krzemianowym.

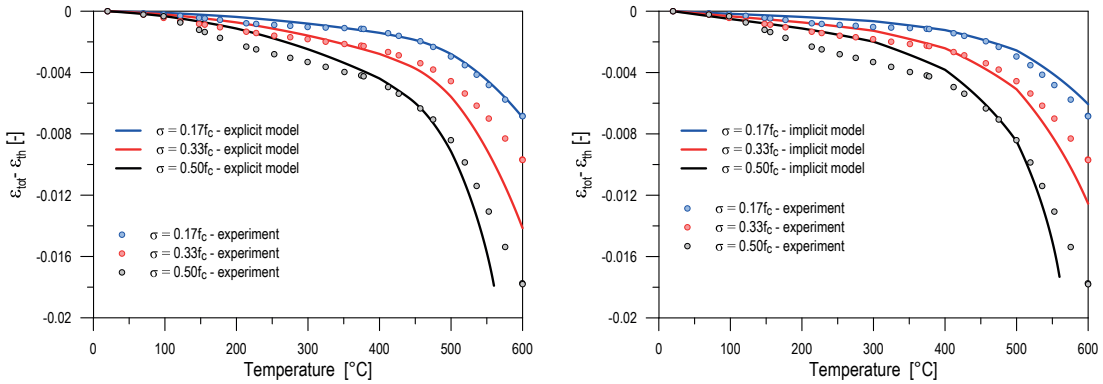
Free thermal strain $\varepsilon_{th.c}$ is a function of temperature and coarse aggregate type. In further calculations the dependence was adopted in line with [3] as for concrete on siliceous aggregate.



Rycina 1. a) jednoosiowe związki naprężenie – odkształcenie betonu, podejście EM i IM, b) zależne od temperatury parametry mechaniczne
Figure 1. a) uniaxial stress-strain relationships for concrete, EM and IM approach, b) temperature-dependent mechanical parameters
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Na ryc. 2 przedstawiono porównanie wyników symulacji prób pełzania w niestacjonarnym polu termicznym wyznaczonych w oparciu o modele typu EM i IM. Rezultaty obliczeń odniesiono do eksperymentu [18] (za pracą [19]). W podejściu EM równanie (6) łącznie z (4) i (5) całkowano metodą wsteczną Eulera. Pomimo generycznej formy związki fizyczne EM jak i IM prowadzą do dobrej zgodności predykcji numerycznej i doświadczenia. Największe różnice można zaobserwować w przypadku temperatury powyżej 500°C.

Figure 2 presents a comparison of creep test simulation results in a transient thermal field determined on the basis of the EM and IM models. The results of the calculations were compared with experiment [18] (after [19]). In the EM approach, equation (6) with equations (4) and (5) were integrated using the backward Euler method. Despite their generic form, EM and IM – type physical relationships lead to reasonable agreement between numerical predictions and experiments. The greatest differences can be observed for temperatures above 500°C.



Rycina 2. Próba pełzania w niestacjonarnym polu termicznym – porównanie z eksperymentem [18]: a) podejście EM, b) podejście IM
Figure 2. Transient creep test – comparison with experiments [18]: a) EM approach, b) IM approach
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Należy podkreślić, że zgodność odpowiedzi mechanicznej betonu otrzymana z wykorzystaniem podejśćć EM i IM jest możliwa jedynie w ograniczonych sytuacjach termiczno-mechanicznych. Model IM ma istotne ograniczenie – jest niewrażliwy na sekwencję obciążenie – ogrzanie. Oznacza to identyczną odpowiedź materiału, który jest najpierw ogrzany, a następnie obciążony oraz materiału ogrzewanego pod obciążeniem. Dodatkowym ograniczeniem podejścia IM jest niewłaściwy opis zachowania się betonu w procesie odciążenia, gdzie odkształcenie

It should be emphasised that the consistence of the mechanical responses of concrete obtained with the EM and IM approaches is possible only in a limited number of thermo-mechanical situations. The IM model has a major limitation – it is insensitive to the loading-heating sequence. This means identical responses of the material which is first heated and then loaded and the material heated under load. An additional limitation of the IM approach is the inaccurate description of concrete behaviour during the unloading process, where the concrete

ISSN 1895-8443

pełzania betonu jest w pełni odwracalne, co nie znajduje potwierdzenia w obserwacjach doświadczalnych.

Związki konstytutywne stali zwykłej i splotów sprężających

W ogólnym przypadku całkowite odkształcenie stali zbrojeniowej oraz stali sprężającej wyraża się w następującej postaci:

$$\varepsilon = \varepsilon_{th.s(p)}(\theta) + \varepsilon_{m}(\sigma,\theta) + \varepsilon_{creep.s(p)}(\sigma,\theta,t) \tag{8}$$

gdzie $\varepsilon_{th.s(p)}$ oznacza swobodne odkształcenie termiczne, $\varepsilon_{creep.s(p)}$ jest odkształceniem pełzania odpowiednio stali zbrojeniowej (s) oraz stali splotów (p), ε_{m} jest odkształceniem mechanicznym sprężystym oraz plastycznym. Analogicznie jak w przypadku betonu odkształcenie pełzania $\varepsilon_{creep.s(p)}$ jest uwzględniane w sposób jawny jak w równaniu (8) – podejście EM lub w sposób pośredni poprzez uwzględnienie tego odkształcenia w ε_{m} – podejście IM. Z wiązki fizyczne naprężenie – odkształcenie w normie [3] (ryc. 3a) uwzględniają pośrednio odkształcenie $\varepsilon_{creep.s(p)}$, mają zatem charakter IM. W tym przypadku do kompletnego opisu zachowania się stali zwykłej i sprężającej wystarczy prawo naprężenie – odkształcenie oraz zależność swobodnego odkształcenia termicznego od temperatury [3].

W przypadku podejścia EM kompletny opis zachowania się materiału wymaga określenia wolnych od wpływów pełzania związków naprężenie – odkształcenie oraz jawnej postaci odkształcenia pełzania.

Pełzanie stali konstrukcyjnych w wysokiej temperaturze było przedmiotem wielu badań – np.: [20], [21], [22], [23], [24]. Typowy przebieg odkształceń pełzania stali w warunkach izotermicznych oraz przy stałym naprężeniu pokazano na ryc. 3b. Wyróżnić można trzy okresy pełzania. Okres I z malejącą prędkością pełzania, gdzie obserwowane jest umocnienie odkształceniowe, następnie okres II ze stałą prędkością pełzania i ostatecznie okres III, w którym następuje zwiększenie prędkości pełzania prowadzące w fazie końcowej do dekohezji i zniszczenia. Powszechnie przyjęty model pełzania stali konstrukcyjnych oparty na teorii umocnienia odkształceniowego został przedstawiony w pracy [20]. Model ten opisuje pełzanie w okresie I i II. W artykule [24] propozycja [20] została zmodyfikowana tak, aby uwzględnić pełzanie trzeciookresowe. Prędkość (przyrost) odkształceń pełzania stali w wysokiej temperaturze ma postać:

$$\dot{\varepsilon}_{creep.s(p)} = Z_{s(p)}(\sigma)\cdot\coth^{2}\left(\frac{\varepsilon_{creep.s(p)}}{\varepsilon_{co.s(p)}(\sigma)}\right)\cdot\exp\left(-\frac{\Delta H_{s(p)}}{\overline{R}\cdot\theta(t)}\right)\cdot \cdot\Delta_{cr}\left(\varepsilon_{creep.s(p)}\right) \tag{9}$$

gdzie $\Delta H_{s(p)}$ oznacza wyznaczaną doświadczalnie energię aktywacji, $\overline{R}$ jest uniwersalną stałą gazową, a $Z_{s(p)}$, $\varepsilon_{co.s(p)}$ są parametrami modelu, których interpretację pokazano na ryc. 3b.

Parametry $Z_{s(p)}$, $\varepsilon_{co.s(p)}$ wyrażone są w postaci prawa potęgowo-wykładniczego i potęgowego ([20], [21], [22]):

$$Z_{s(p)}(\sigma) = \begin{cases} z_{1.s(p)}\left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.s(p)}}\right)^{z_{2.s(p)}} & \sigma \le \sigma_{t.s(p)} \\ z_{3.s(p)}\exp\left(z_{4.s(p)}\frac{\sigma}{\sigma_{0.s(p)}}\right) & \sigma > \sigma_{t.s(p)} \end{cases} \tag{10}$$

$$\varepsilon_{co.s(p)}(\sigma) = \varepsilon_{1.s(p)}\left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.s(p)}}\right)^{\varepsilon_{2.s(p)}} \tag{11}$$

Constitutive relations of reinforcing steel and prestressing strands

In general, the total strain of reinforcing steel and prestressing steel is expressed as follows:

$$\varepsilon = \varepsilon_{th.s(p)}(\theta) + \varepsilon_{m}(\sigma,\theta) + \varepsilon_{creep.s(p)}(\sigma,\theta,t) \tag{8}$$

where $\varepsilon_{th.s(p)}$ means free thermal strain $\varepsilon_{creep.s(p)}$ is the creep strain of, respectively, reinforcing steel (s) and prestressing steel (p), ε_{m} is the elastic and plastic mechanical strain. As in the case of concrete, $\varepsilon_{creep.s(p)}$ is taken into consideration explicitly, as in equation (8) – the EM approach, or implicitly by including this strain in ε_{m} – the IM approach. Stress-strain physical relationships in code [3] Fig. 3a) implicitly take into consideration strain $\varepsilon_{creep.s(p)}$, i.e., they fall within the IM approach. In this case, in order to describe the behaviour of ordinary and prestressing steel, it is sufficient to apply the stress-strain law and the dependence of free thermal strain on temperature [3].

In the case of the EM approach, a complete description of material behaviour makes it necessary to determine stress-strain relationships free of the effects of creep and an explicit form of creep strain.

Structural steel creep at high temperatures was the subject of numerous studies, e.g., [20], [21], [22], [23], [24]. A typical course of steel creep strain in isothermic conditions and with constant stress is shown in Fig. 3b. Three stages of creep can be identified. Stage I with a decreasing creep rate, where strain hardening is observed, followed by stage II with a constant creep rate, and stage III, with an increased creep rate leading in its final stage to decohesion and failure. The generally accepted structural steel creep model based on the strain hardening theory was presented in [20]. The model describes creep during stages I and II. In article [24] proposal [20] was modified so as to take into consideration the third stage of creep. The rate (increase) of steel creep strain at high temperatures is calculated as follows:

$$\dot{\varepsilon}_{creep.s(p)} = Z_{s(p)}(\sigma)\cdot\coth^{2}\left(\frac{\varepsilon_{creep.s(p)}}{\varepsilon_{co.s(p)}(\sigma)}\right)\cdot\exp\left(-\frac{\Delta H_{s(p)}}{\overline{R}\cdot\theta(t)}\right)\cdot \cdot\Delta_{cr}\left(\varepsilon_{creep.s(p)}\right) \tag{9}$$

where $\Delta H_{s(p)}$ means the experimentally determined activation energy, $\overline{R}$ is the universal gas constant, and $Z_{s(p)}$ and $\varepsilon_{co.s(p)}$ are the parameters of the model, whose interpretation is shown in Fig. 3b.

Parametres $Z_{s(p)}$ and $\varepsilon_{co.s(p)}$ are expressed in the form of the power and exponential law and the power law ([20], [21], [22]):

$$Z_{s(p)}(\sigma) = \begin{cases} z_{1.s(p)}\left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.s(p)}}\right)^{z_{2.s(p)}} & \sigma \le \sigma_{t.s(p)} \\ z_{3.s(p)}\exp\left(z_{4.s(p)}\frac{\sigma}{\sigma_{0.s(p)}}\right) & \sigma > \sigma_{t.s(p)} \end{cases} \tag{10}$$

$$\varepsilon_{co.s(p)}(\sigma) = \varepsilon_{1.s(p)}\left(\frac{\sigma}{\sigma_{0.s(p)}}\right)^{\varepsilon_{2.s(p)}} \tag{11}$$

w których stałe $z_{1.s(p)}$ do $z_{4.s(p)}$, $\varepsilon_{1.s(p)}$, $\varepsilon_{2.s(p)}$, $\sigma_{t.s(p)}$, $\sigma_{0.s(p)}$ ustala się na podstawie doświadczalnych prób pełzania w stacjonarnych warunkach termicznych. Funkcja uwzględniająca pełzanie w okresie III przedstawiona jest wzorem:

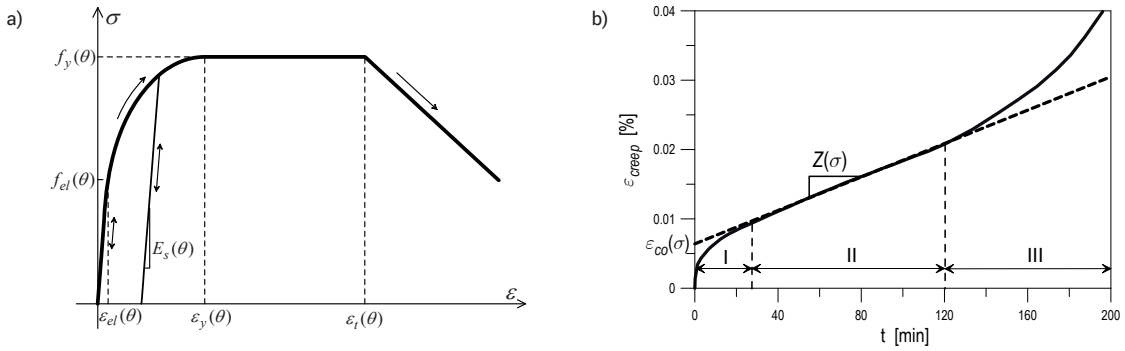
$$\Delta_{cr}\left(\varepsilon_{creep.s(p)}\right)=\begin{cases}1.0 & \varepsilon_{creep.s(p)}\le\varepsilon_{lim.s(p)}\\ \dfrac{\varepsilon_{creep.s(p)}}{\varepsilon_{lim.s(p)}} & \varepsilon_{creep.s(p)}>\varepsilon_{lim.s(p)}\end{cases} \quad (12)$$

gdzie $\varepsilon_{lim.s(p)}$ jest stałą materiałową. Badania doświadczalne stali zwykłych [20] i sprężających [24] wskazują, że pełzanie w trzecim okresie zaczyna się, gdy $\varepsilon_{creep.s(p)}$ przekroczy 0,02. Przy tak dużych odkształceniach konstrukcje żelbetowe i sprężone są bliskie fazy zniszczenia. Stąd pełzanie w trzecim okresie zazwyczaj nie jest istotne w analizie zachowania się konstrukcji żelbetowych i sprężonych w pożarze.

where constants $z_{1.s(p)}$ to $z_{4.s(p)}$, $\varepsilon_{1.s(p)}$, $\varepsilon_{2.s(p)}$, $\sigma_{t.s(p)}$, $\sigma_{0.s(p)}$ are determined on the basis of experimental creep tests in transient thermal conditions. The function taking into consideration creep at stage III is expressed by the following equation:

$$\Delta_{cr}\left(\varepsilon_{creep.s(p)}\right)=\begin{cases}1.0 & \varepsilon_{creep.s(p)}\le\varepsilon_{lim.s(p)}\\ \dfrac{\varepsilon_{creep.s(p)}}{\varepsilon_{lim.s(p)}} & \varepsilon_{creep.s(p)}>\varepsilon_{lim.s(p)}\end{cases} \quad (12)$$

where $\varepsilon_{lim.s(p)}$ is a material constant. Experimental tests of ordinary steel [20] and prestressing steel [24] show that creep in stage III begins when $\varepsilon_{creep.s(p)}$ exceeds 0.02. With such high strains, reinforced concrete and prestressed structures are close to failure. Therefore, creep in stage III is usually irrelevant for the analysis of the behaviour of reinforced concrete and prestressed structures in a fire.



Rycina 3. a) związki fizyczne naprężenie – odkształcenie stali zbrojeniowej oraz stali sprężającej; b) pełzanie stali konstrukcyjnych w wysokiej temperaturze

Figure 3. a) stress-strain relationships for reinforcing and prestressing steels, b) creep of structural steel at high temperatures

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Problemem w ustaleniu modelu EM stali zwykłej i sprężającej jest określenie generycznej zależności naprężenie – odkształcenie pozbawionej pośredniego wpływu pełzania wbudowanego w odkształcenie ε_m. W pracy [23] zaproponowano metodę wyodrębnienia odkształcenia pełzania z krzywych naprężenie – odkształcenie typu IM. Autorzy [23] zauważyli, że zadowalająca zgodność z eksperymentem jest otrzymana, jeżeli zostanie zredukowana wartość odkształcenia $\varepsilon_y(\theta)$, przy którym osiągana jest granica plastyczności – ryc. 3a. W przypadku zwykłej stali konstrukcyjnej wartość redukcji odkształcenia wynosi 0,01 [23]. W analogiczny sposób zredukowano odkształcenie $\varepsilon_y(\theta)$ stali sprężającej. Przyjęta wartość redukcji wynosi 0.0075. Poprawność tej redukcji została sprawdzona w oparciu o eksperymenty [25], [26] przytoczone za pracą [27]. Doświadczenia te polegały na próbach pełzania w niestacjonarnym, monotonicznie rosnącym polu termicznym. Do obliczeń założono związki fizyczne naprężenie – odkształcenie według [3] z wprowadzoną redukcją odkształcenia $\varepsilon_y(\theta)$ o 0.0075. Stałe w równaniu (9) zostały zaczerpnięte z pracy [21] jak dla stali ASTM A 421-65.

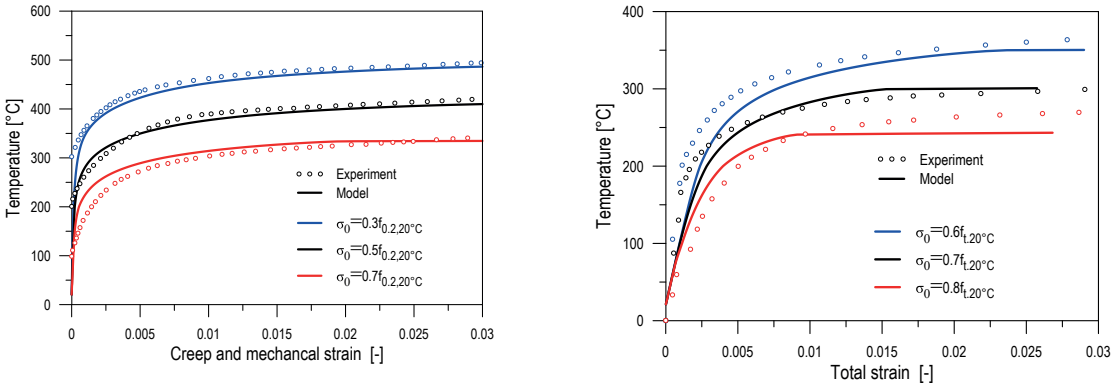
W przypadku testu [25] otrzymano bardzo dobrą zgodność symulacji obliczeniowej z eksperymentem – ryc. 4a. Mniejszą zgodność uzyskano dla serii doświadczalnej [26] – ryc. 4b, co jest spowodowane wcześniejszym osiąganiem granicy plastyczności według modelu [3] niż to miało miejsce w przypadku konkretnej stali badanej w eksperymencie. Pomimo tych

The problem with specifying the EM model for ordinary and prestressed structures lies in determining the stress-strain relationship without the implicit impact of creep built into strain ε_m. The authors of work [23] suggest a method for separating creep strain from IM-type stress-strain curves. The authors of [23] noticed that an acceptable agreement with the experiment is achieved through the reduction of strain value $\varepsilon_y(\theta)$ for which the yield stress is reached – Fig. 3a. For ordinary structural steel the strain reduction value is 0.01 [23]. Strain $\varepsilon_y(\theta)$ of prestressing steel was reduced in a similar way. The adopted reduction value amounts to 0.0075. The accuracy of the reduction was checked on the basis of experiments [25], [26] as cited in [27]. These experiments consisted of creep tests in a transient, monotonically increasing thermal field. The calculations were based on the stress-strain physical relationships according to [3] with the introduced strain $\varepsilon_y(\theta)$ reduction of 0.0075. Constants in equation (9) (were taken from [21] as for steel ASTM A 421-65.

Test [25] resulted in a very good agreement between the computational simulation with the experiment – Fig. 4a. A lower level of concordance was achieved for the experimental series [26] – Fig. 4b. This was caused by an earlier reaching of the yield stress according to model [3] than in the case of the specific type of steel tested in the experiment. Despite these discrepancies, model [3] modified in a simple way, with an explicit description

rozbieżności zmodyfikowany w prosty sposób model [3] wraz z jawnym opisem odkształcenia pełzania według równania wystarczająco dokładnie opisuje proces pełzania stali sprężającej.

of creep strain based on equation (9), provides a sufficiently accurate description of the creep process of prestressing steel.



Rycina 4. Pełzanie stali w zmiennej temperaturze: a) eksperyment [25], b) eksperyment [26]

Figure 4. Creep test at transient temperature: a) experiment [25], b) experiment [26]

Źródło: Opracowanie własne.

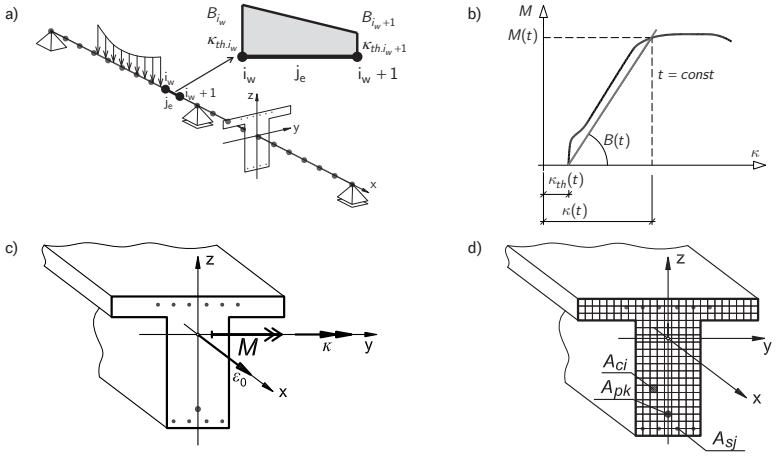
Source: Own elaboration.

Algorytm obliczeniowy

W analizie obliczeniowej konstrukcji wprowadzona jest dyskretyzacja na dwóch poziomach: lokalnym – przekroju poprzecznego oraz globalnym, czyli całej konstrukcji – ryc. 5 a, d. W każdej chwili czasu *t* pożaru w przekroju wyznaczane są temperatury metodą elementów skończonych. Następnie pola temperatury wykorzystywane są do analizy stanu mechanicznego w przekroju – wyznaczenia pól odkształceń i naprężeń oraz uogólnionych wielkości kinematycznych krzywizny κ i odkształcenia ε_0 – ryc. 5 c. Następny krok analizy polega na wyznaczeniu siecznych sztywności według definicji pokazanej na ryc. 5b oraz wyznaczeniu przemieszczeń i sił wewnętrznych w konstrukcji metodą elementów skończonych. W obliczeniach przyjęto liniową zmienność sztywności giętnej pomiędzy węzłami – ryc. 5a.

Computational algorithm

The computational analysis of structures, introduces discretisation at two levels: local, i.e. at the cross-section level, and global – for the whole structure –Fig. 5 a, d. At any time *t* during the fire, temperatures at the cross-section are determined using the finite element method. After that, temperature fields are used to analyse the mechanical state at the cross-section – to determine strain and stress fields and generalised kinematic variables: curvature κ and strain ε_0 – Fig. 5 c. The next step of the analysis consists of determining secant stiffness according to the definition shown in Fig. 5b, and determining displacements and internal forces in the structure using the finite element method. A linear dependence of flexural stiffness between the nodes was adopted for the calculations – Fig. 5a.



Rycina 5.a) dyskretyzacja MES na poziomie konstrukcji, b) definicja siecznych sztywności, c) uogólnione siły i wielkości kinematyczne na poziomie przekroju, d) dyskretyzacja przekroju

Figure 5. a) FEM discretisation at the structural level, b) definition of the secant stiffness, c) generalised kinematic variables and forces at the cross-section level, d) discretisation of the cross-section

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Na poziomie przekroju poprzecznego uogólnione przemieszczenia κ i ε_0 wyznacza się rozwiązując równanie:

$$\mathbf{f}_{int} = \begin{Bmatrix} f_{int}^N \\ f_{int}^M \end{Bmatrix} = \mathbf{f}_{ext} = \begin{Bmatrix} N=0 \\ M(t) \end{Bmatrix} \tag{13}$$

gdzie:

$$f_{int}^N = \iint_A \sigma_c\left(\varepsilon_{m.c},\theta\right)dA + \sum_j \sigma_s\left(\varepsilon_{m.s},\theta\right)A_{sj} + \sum_k \sigma_p\left(\varepsilon_{m.p},\theta\right)A_{pk}$$
$$f_{int}^M = \iint_A \sigma_c\left(\varepsilon_{m.c},\theta\right)z dA + \sum_j \sigma_s\left(\varepsilon_{m.s},\theta\right)z_j A_{sj} + \sum_k \sigma_p\left(\varepsilon_{m.p},\theta\right)z_k A_{pk} \tag{14}$$

Odkształcenia mechaniczne poszczególnych włókien przekroju betonowego oraz prętów zbrojenia zwykłego i sprężającego obliczane są z wykorzystaniem związków fizycznych (4) i (8). Wstawiając równanie (1) do równania (4), otrzymujemy:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{m.c}\left(\kappa,\varepsilon_0,y,z,t\right) &= \varepsilon - \varepsilon_{th.c} - \varepsilon_{tr.c} = \\ &= \kappa z + \varepsilon_0 - \varepsilon_{th.c}\left(\theta\left(y,z,t\right)\right) - \varepsilon_{tr.c}\left(y,z,t\right)\end{aligned} \tag{15}$$

W sposób analogiczny wyznaczamy odkształcenia mechaniczne w pręcie zbrojeniowym (j) i w splocie (k):

$$\begin{aligned}\varepsilon_{m.s}\left(\kappa,\varepsilon_0,y_j,z_j,t\right) &= \varepsilon - \varepsilon_{th.s} - \varepsilon_{creep.s} = \\ &= \kappa z_j + \varepsilon_0 - \varepsilon_{th.s}\left(\theta\left(y_j,z_j,t\right)\right) - \varepsilon_{creep.s}\left(y_j,z_j,t\right)\end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{m.p}\left(\kappa,\varepsilon_0,\varepsilon_{p0_k},y_k,z_k,t\right) &= \\ = \kappa z_k + \varepsilon_0 - \varepsilon_{th.p}\left(\theta\left(y_k,z_k,t\right)\right) - \varepsilon_{creep.p}\left(y_k,z_k,t\right) + \varepsilon_{p0_k}\end{aligned} \tag{17}$$

gdzie ε_{p0_k} jest odkształceniem od sprężenia w splocie k w chwili rozpoczęcia oddziaływania wysokiej temperatury. Wektor sił wewnętrznych $\mathbf{f}_{int}$ oblicza się w sposób przybliżony z wykorzystaniem dyskretyzacji przekroju poprzecznego – ryc. 5d.

Krzywizna wymuszona κ_{th} wykorzystywana do wyznaczenia siecznej sztywności B przekroju w węźle obliczana jest z równania (13), przyjmując $f_{int}^M = 0$. W związkach fizycznych wykorzystywanych do wyznaczenia κ_{th} uwzględnia się istniejące uszkodzenia (historię odkształceń mechanicznych), które miały miejsce w przekroju obciążonym oraz osiągnięte do chwili *t* trwałe odkształcenia pełzania betonu w niestacjonarnym polu termicznym, a także odkształcenia pełzania stali zbrojeniowej i sprężającej. Sieczna sztywność B może być zatem interpretowana jako liniowa aproksymacja ścieżki odciążenia w układzie $M \sim \kappa$ na poziomie przekroju poprzecznego – ryc. 5b. Algorytm obliczeniowy przedstawia się następująco:

1. W chwili t w każdym węźle konstrukcji znany jest stan termiczno-mechaniczny konstrukcji.
2. W chwili $t + \Delta t$ wyznaczamy: nowe wartości temperatury $\boldsymbol{\theta}^{t+\Delta t}$, swobodne odkształcenia termiczne $\boldsymbol{\varepsilon}_{th.c}^{t+\Delta t}$, $\boldsymbol{\varepsilon}_{th.s}^{t+\Delta t}$, $\boldsymbol{\varepsilon}_{th.p}^{t+\Delta t}$ oraz ewentualną zmianę sił wewnętrznych $\Delta\mathbf{f}_{ext}$ wynikającą ze zmiany obciążenia mechanicznego, obliczoną dla sztywności $\mathbf{B}^t$.
3. Przyjmujemy nowe wartości sił wewnętrznych $\mathbf{f}_{ext}^{t+\Delta t} = \mathbf{f}_{ext}^t + \Delta\mathbf{f}_{ext}$.
4. Dla sił wewnętrznych $\mathbf{f}_{ext}^{t+\Delta t}$ obliczane są metodą Newtona-Raphsona krzywizny $\boldsymbol{\kappa}^{t+\Delta t}$, $\boldsymbol{\kappa}_{th}^{t+\Delta t}$. W przypadku modeli EM iteracyjnie obliczane są odkształcenia pełzania na poziomie każdego węzła i włókna betonowego oraz stali zbrojeniowej i sprężającej: $\boldsymbol{\varepsilon}_{tr.c}^{t+\Delta t} = \boldsymbol{\varepsilon}_{tr.c}^t + \Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{tr.c}$,

At the cross-section level generalised kinematic variables κ and ε_0 are determined by solving the equation:

$$\mathbf{f}_{int} = \begin{Bmatrix} f_{int}^N \\ f_{int}^M \end{Bmatrix} = \mathbf{f}_{ext} = \begin{Bmatrix} N=0 \\ M(t) \end{Bmatrix} \tag{13}$$

where:

$$f_{int}^N = \iint_A \sigma_c\left(\varepsilon_{m.c},\theta\right)dA + \sum_j \sigma_s\left(\varepsilon_{m.s},\theta\right)A_{sj} + \sum_k \sigma_p\left(\varepsilon_{m.p},\theta\right)A_{pk}$$
$$f_{int}^M = \iint_A \sigma_c\left(\varepsilon_{m.c},\theta\right)z dA + \sum_j \sigma_s\left(\varepsilon_{m.s},\theta\right)z_j A_{sj} + \sum_k \sigma_p\left(\varepsilon_{m.p},\theta\right)z_k A_{pk} \tag{14}$$

Mechanical strains of each fibre of the concrete section and the reinforcing and prestressing steel bars are calculated with the use of physical relations (4) and (8). By inserting equation (1) to equation (4), the following is obtained:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{m.c}\left(\kappa,\varepsilon_0,y,z,t\right) &= \varepsilon - \varepsilon_{th.c} - \varepsilon_{tr.c} = \\ &= \kappa z + \varepsilon_0 - \varepsilon_{th.c}\left(\theta\left(y,z,t\right)\right) - \varepsilon_{tr.c}\left(y,z,t\right)\end{aligned} \tag{15}$$

Similarly, mechanical strains in reinforcing bar (j) and strand (k) are determined as follows:

$$\begin{aligned}\varepsilon_{m.s}\left(\kappa,\varepsilon_0,y_j,z_j,t\right) &= \varepsilon - \varepsilon_{th.s} - \varepsilon_{creep.s} = \\ &= \kappa z_j + \varepsilon_0 - \varepsilon_{th.s}\left(\theta\left(y_j,z_j,t\right)\right) - \varepsilon_{creep.s}\left(y_j,z_j,t\right)\end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_{m.p}\left(\kappa,\varepsilon_0,\varepsilon_{p0_k},y_k,z_k,t\right) &= \\ = \kappa z_k + \varepsilon_0 - \varepsilon_{th.p}\left(\theta\left(y_k,z_k,t\right)\right) - \varepsilon_{creep.p}\left(y_k,z_k,t\right) + \varepsilon_{p0_k}\end{aligned} \tag{17}$$

where ε_{p0_k} is the prestressing strain in strand *k* at the beginning of heating. Internal forces vector $\mathbf{f}_{int}$ is calculated in an approximate manner, using cross-section discretisation – Fig. 5d.

Thermal curvature κ_{th} used to determine secant stiffness B of the cross-section at the node, is calculated from equation (13), assuming $f_{int}^M = 0$. The physical relationships used to calculate κ_{th}, take into accountthe existing damage (the history of mechanical strains) in a loaded cross-section and transient concrete creep strains obtained until time *t* together with reinforcing and prestressing steel creep strains. Secant stiffness B can thus be interpreted as a linear approximation of the unloading path in the $M \sim \kappa$ relations at the cross-section level – Fig. 5b. The computational algorithm is as follows:

1. At time t in each node of the structure, the thermo-mechanical condition of the structure is known.
2. At time $t + \Delta t$ the following are determined: new values of temperature $\boldsymbol{\theta}^{t+\Delta t}$, free thermal strains $\boldsymbol{\varepsilon}_{th.c}^{t+\Delta t}$, $\boldsymbol{\varepsilon}_{th.s}^{t+\Delta t}$, $\boldsymbol{\varepsilon}_{th.p}^{t+\Delta t}$ and the possible change of internal forces $\Delta\mathbf{f}_{ext}$ resulting from the change in the mechanical load calculated for stiffness $\mathbf{B}^t$.
3. New internal force values $\mathbf{f}_{ext}^{t+\Delta t} = \mathbf{f}_{ext}^t + \Delta\mathbf{f}_{ext}$ are adopted.
4. For internal forces $\mathbf{f}_{ext}^{t+\Delta t}$ curvatures $\boldsymbol{\kappa}^{t+\Delta t}$ and $\boldsymbol{\kappa}_{th}^{t+\Delta t}$ are calculated with the use of the Newton-Raphson method. For EM models, creep strains are calculated iteratively at the level of each node and concrete fibre and reinforcing and prestressing steel: $\boldsymbol{\varepsilon}_{tr.c}^{t+\Delta t} = \boldsymbol{\varepsilon}_{tr.c}^t + \Delta\boldsymbol{\varepsilon}_{tr.c}$,

ISSN 1895-8443

$\varepsilon_{creep.s}^{t+\Delta t} = \varepsilon_{creep.s}^{t} + \Delta\varepsilon_{creep.s}$, $\varepsilon_{creep.p}^{t+\Delta t} = \varepsilon_{creep.p}^{t} + \Delta\varepsilon_{creep.p}$. Obliczane są naprężenia $\sigma_c^{t+\Delta t}$, $\sigma_s^{t+\Delta t}$, $\sigma_p^{t+\Delta t}$.

5. Obliczamy sztywności $\mathbf{B}^{t+\Delta t}$ i metodą elementów skończonych wyznaczamy ponownie $\mathbf{f}_{ext}^{t+\Delta t}$.
6. Przyjmujemy nową wartość $\mathbf{f}_{ext}^{t+\Delta t}$ i powtarzamy procedurę z punktu 4 i 5 aż do uzyskania satysfakcjonującej zbieżności.

Powyższy algorytm został zaimplementowany w programie MathCAD. Obliczenia termiczne na poziomie przekroju poprzecznego zostały przeprowadzone w programie DIANA.

Pełne płyty strunobetonowe – porównanie z eksperymentem

W pierwszym przykładzie obliczeniowym przedstawiono zachowanie się trzech strunobetonowych płyt pełnych ogrzewanych od spodu. Płyty były przedmiotem badań eksperymentalnych [28]. Schemat statyczny płyt został przedstawiony na ryc. 6. Mają one grubość 16,5 cm, nie mają zbrojenia zwykłego. Sprężenie stanowi 5 splotów o średnicy 11,1 mm (7/16 cala). Zastosowano trzy różne grubości otulenia: 2,54 cm, 5,08 cm, 7,62 cm odpowiednio dla płyty nr 1, nr 2 i nr 3. Obciążenie skupione, uwzględniające ciężar własny konstrukcji zostało dobrane w taki sposób, aby zapewnić takie samo wytężenie konstrukcji na początku nagrzewu. Siły te wynoszą 8.98 kN dla płyty nr 1, 7,56 kN w przypadku elementu nr 2 i 6,07 kN w przypadku płyty nr 3.

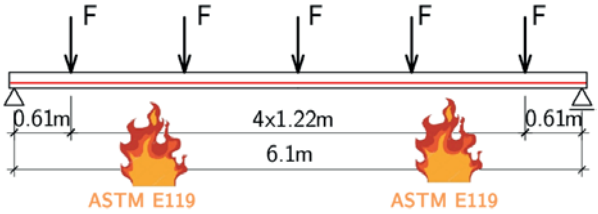
$\varepsilon_{creep.s}^{t+\Delta t} = \varepsilon_{creep.s}^{t} + \Delta\varepsilon_{creep.s}$, $\varepsilon_{creep.p}^{t+\Delta t} = \varepsilon_{creep.p}^{t} + \Delta\varepsilon_{creep.p}$. Stresses $\sigma_c^{t+\Delta t}$, $\sigma_s^{t+\Delta t}$, and $\sigma_p^{t+\Delta t}$ are calculated.

5. Stiffness $\mathbf{B}^{t+\Delta t}$ is calculated and $\mathbf{f}_{ext}^{t+\Delta t}$ is again determined using the finite element method.
6. New value $\mathbf{f}_{ext}^{t+\Delta t}$ is adopted and the procedure from points 4 and 5 is repeated until a satisfactory level of convergence is achieved.

The above algorithm was implemented in MathCAD. Thermal calculations at the cross-section level were performed in the DIANA program.

Full pretensioned concrete slabs – a comparison with the experiment

The first calculation example presents the behaviour of three pretensioned concrete slabs heated from below. The slabs were the subject of experimental tests [28]. The static scheme of the slabs is presented in Fig. 6. Their thickness was 16.5 cm, and reinforcement consisted of 5 strands with a diameter of 11.1 mm (7/16 inch). Three various thicknesses of the concrete cover were applied: 2.54 cm, 5.08 cm, 7.62 cm respectively for slabs 1, 2 and 3. Concentrated load, taking into account the structure's dead load, was selected in such a way as to ensure the same stress intensity level of the structure at the onset of heating. The forces were 8.98 kN for slab 1, 7.56 kN for slab 2 and 6.07 kN in the case of slab 3.



Rycina 6. Schemat statyczny analizowanych płyt – eksperyment [28]
Figure 6. Static diagram of the analysed slabs – the experiment [28]
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Płyty zostały wykonane z różnych mieszanek betonowych. Jednoosiowa wytrzymałość na ściskanie w chwili przeprowadzania testu wynosiła dla płyty nr 1 – 37,2 MPa, nr 2 – 34,5 MPa, nr 3 – 43,4 MPa. Wytrzymałość na rozciąganie splotów wyniosła 1806 MPa, a moduł sprężystości był równy 195 GPa. Naprężenie w splotach przed rozpoczęciem nagrzewu wynosiło 1030 MPa.

Parametry mechaniczne betonu w wysokiej temperaturze zostały określone jak dla betonu na kruszywie krzemianowym zgodnie z zaleceniami [3]. Obliczenia zostały przeprowadzone dla podejścia EM oraz IM, zarówno w odniesieniu do betonu, jak i stali sprężającej z zastosowaniem opisanych wcześniej związków fizycznych. W przypadku podejścia EM właściwości reologiczne stali w wysokiej temperaturze przyjęto na podstawie pracy [21] jak dla stali ASTM A 421-65.

Przyjęto następującą dyskretyzację konstrukcji: przęsło zostało podzielone na 20 elementów skończonych o równej długości. Wymiar elementu skończonego przekroju poprzecznego wyniósł 0,5 cm.

The slabs were made of various concrete mixtures. The uniaxial compressive strength at the time of performing the test was as follows: for No. 1 – 37.2 MPa, for No. 2 – 34.5 MPa, and for No. 3 – 43.4 MPa. The tensile strength of strands amounted to 1806 MPa, and the elasticity modulus was equal to 195 GPa. Stress in strands before heating was 1030 MPa.

The mechanical parameters of concrete at high temperature were determined in the same way as for concrete on silicate aggregate, in line with [3]. Calculations were performed for the EM and IM approaches, both for concrete and prestressing steel, using the previously described physical relationships. In the case of the EM approach, the rheological properties of steel at high temperature were adopted on the basis of [21], as for steel ASTM A 421-65.

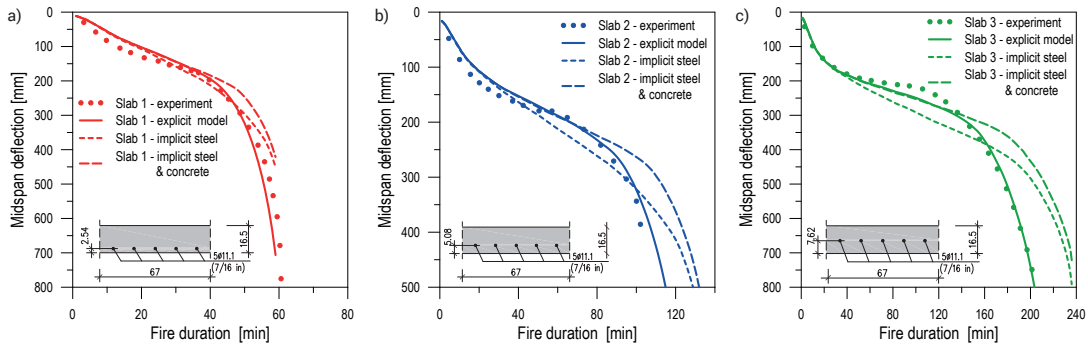
The discretisation of the structure was as follows: the span was divided into 20 finite elements of equal length. The dimension of a finite element of the cross-section was 0.5 cm.

Obliczenia przeprowadzono dla następujących sytuacji. W sytuacji 1 wykorzystano podejście EM zarówno w przypadku stali sprężającej, jak i betonu. W sytuacji 2 związki fizyczne betonu i stali są typu IM. Są to zatem obliczenia prowadzone według rekomendacji Eurokodu 2-1-2 [3]. Sytuacja 3 jest przypadkiem mieszanym – związki fizyczne betonu są typu EM, natomiast stal jest opisana modelem typu IM.

Wyniki obliczeń zostały zilustrowane na ryc. 7 – 9. Na ryc. 7 przedstawiono porównanie zmierzonych w eksperymencie [28] przemieszczeń w środku rozpiętości płyt z wynikami obliczeń wykonanych dla powyższych sytuacji obliczeniowych. Dobrą zgodność pomiędzy obliczeniami i eksperymentem w całym okresie nagrzewu uzyskano w przypadku podejścia EM – sytuacja 1. W początkowej fazie ogrzania konstrukcji modele EM i IM prowadzą do identycznych wyników. W tej fazie deformacja wynika przede wszystkim z dużego przyrostu gradientu temperatury i ze stowarzyszonej z tym gradientem krzywizny termicznej. W fazie drugiej, wyraźnie zaakcentowanej w przypadku płyt nr 2 i nr 3, następuje stabilizacja prędkości deformacji. W tej fazie występują wyraźne różnice w przypadku sytuacji obliczeniowej 2 (modele IM betonu i stali). Deformacje w ostatniej fazie ogrzania wynikają przede wszystkim z dużych przyrostów odkształceń pełzania i odkształceń mechanicznych stali sprężającej. Model typu IM niewłaściwie opisuje tę fazę ogrzania, duże odkształcenia stali pojawiają się z kilkunasto- do kilkudziesięcio- minutowym opóźnieniem.

The calculations were carried out for the situations described below. In case 1, the EM approach was used for both prestressing steel and concrete. In case 2, the physical relationships of concrete and steel were of IM type. The calculations were thus performed in line with the recommendations of Eurocode 2-1-2 [3]. Case 3 was mixed – the physical relationships of concrete were of EM type, while steel was described using the IM model.

Results of the calculations are presented in Figs. 7 – 9. Fig. 7 shows a comparison of displacements in the midspan of slabs measured in experiment [28] with the results of calculations performed for the above computational cases. A good agreement between the calculations and the experiment throughout the heating period was obtained for the EM approach – case 1. In the initial phase of structure heating, EM and IM models lead to identical results. In this phase, the deformation results primarily from a large increase in the temperature gradient and the related thermal curvature. In the second phase, clearly marked in the case of slabs 2 and 3, the displacement rate stabilises. In this phase, clear differences are observed for computational case 2 (the IM models of concrete and steel). Deformations in the last heating phase result primarily from large increases in creep strains and mechanical strains of prestressing steel. The IM model inaccurately describes this heating phase. Considerable steel strains appear with a delay of several to several dozen minutes.

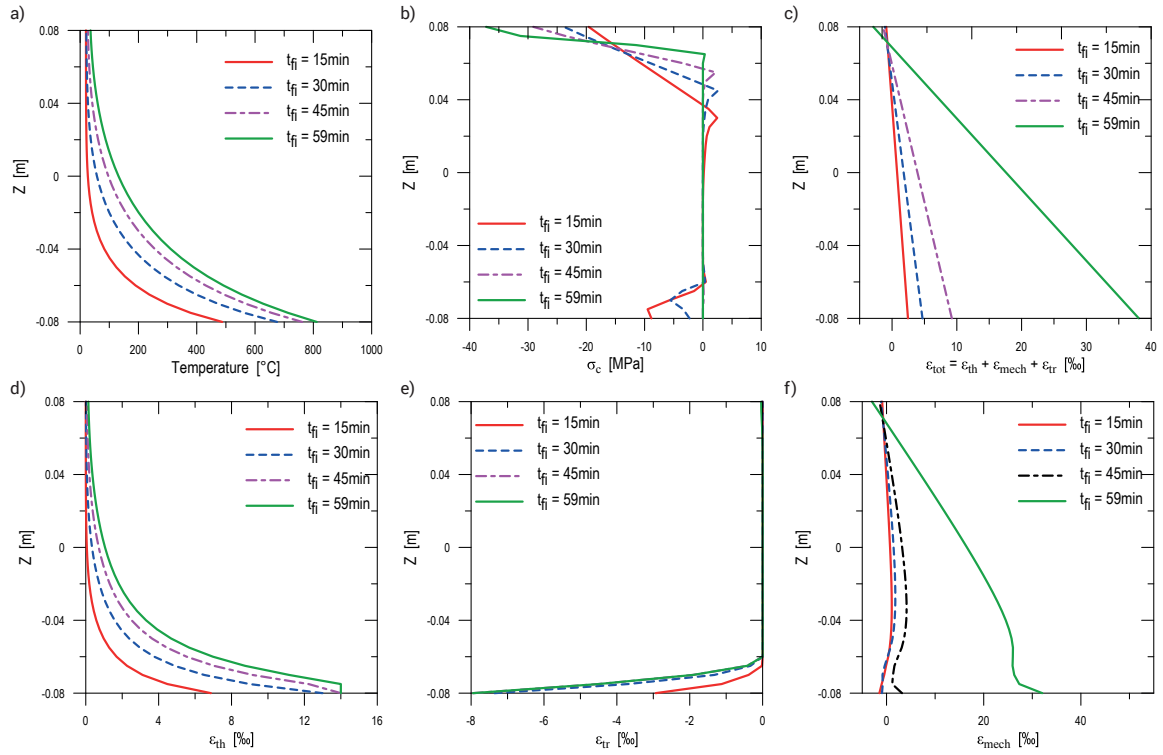


Rycina 7. Porównanie obliczeń z eksperymentem [28]
Figure 7. Comparison of calculations with experiment [28]
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

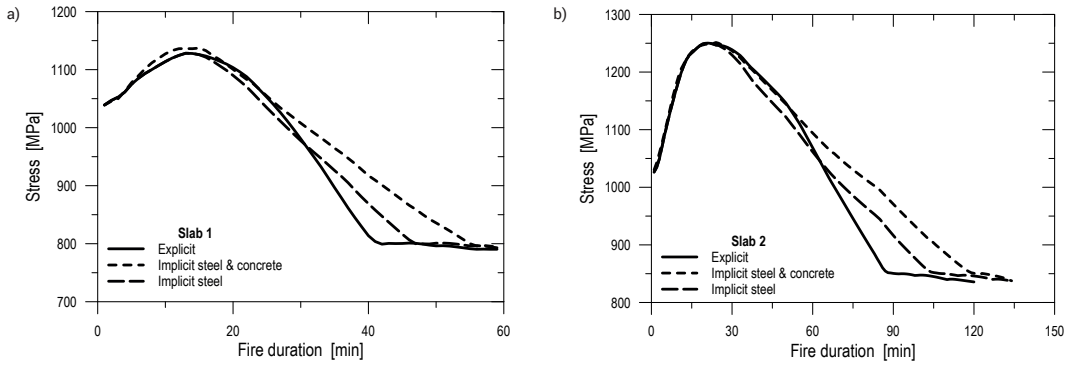
Na ryc. 8 przedstawiono obliczone profile temperatury, naprężeń oraz poszczególnych odkształceń w betonie płyty nr 1. Profile termiczne mają nieliniowy przebieg wzdłuż wysokości przekroju z dużym gradientem w dolnej połowie wysokości – ryc. 8a. Implikuje to duże odkształcenia termiczne w tej strefie (ryc. 8d) nieznacznie redukowane przez odkształcenia pełzania betonu w niestacjonarnych warunkach termicznych – ryc. 8e. Zakres występowania odkształceń pełzania betonu jest stosunkowo niewielki i kumuluje się w otuleniu splotów. Na ryc. 8b pokazano zmianę rozkładu naprężeń w przekroju. W początkowej fazie nagrzewu występują dwa obszary naprężeń ściskających – przy krawędzi dolnej i górnej. W strefie środkowej dominują rozciągania i beton jest tu zarysowany. Jest to wynik dużego, nieliniowego gradientu temperatury i związanym z tym układem samorównoważących się naprężeń od odkształceń wymuszonych. W ostatniej fazie ogrzania ściskane są tylko górne włókna przekroju.

Fig. 8 shows the calculated profiles of temperature, stress and the respective strains in the concrete of slab 1. Thermal profiles are non-linear and run along the height of the section with a high gradient in the lower half of the height – Fig. 8a. This implies considerable thermal strains in this area (Fig. 8d), slightly reduced by the concrete transient creep strains – Fig. 8e. The range of the occurrence of concrete creep strains is relatively small and accumulated in the strands cover. Fig. 8b shows changes in the distribution of stresses at the cross-section. In the initial heating phase, two compressive stress areas are identified – at the lower and upper edges. In the central area, tension is dominant and concrete is cracked. This results from a high non-linear temperature gradient and the related system of self-balanced stresses from thermal strains. In the last heating phase, only the upper fibres of the section are compressed.

ISSN 1895-8443



Rycina 8. Płyta nr 1 – obliczone profile temperatury, naprężeń i odkształceń w przekroju
Figure 8. Slab 1 – calculated temperature, stress and strain profiles at the cross-section
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Rycina 9. Historia naprężeń w splotach: a) płyta 1, b) płyta 2
Figure 9. Stress history in strands: a) slab 1, b) slab 2
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Ryc. 9 przedstawia zmiany naprężenia w splotach płyt nr 1 i nr 2. W początkowej fazie nagrzewu naprężenia wyraźnie wzrastają do poziomu 1130 MPa (płyta nr 1) – 1250 MPa (płyta nr 2). Jest to efekt dużej różnicy temperatury pomiędzy skrajnym, nagrzewanym włóknem przekroju a włóknem na poziomie splotów. Ściskanie w strefie otuliny jest równoważone przez przyrost naprężenia w splotach. Po osiągnięciu ekstremum naprężenia spadają do wartości ok. 800 MPa. W początkowym okresie spadek ten jest wynikiem wyrównywania się odkształceń termicznych, a następnie rozwojem odkształceń pełzania stali.

Pomimo istotnych różnic w deformacji analizowanych konstrukcji otrzymane wartości odporności ogniowej w poszczególnych

Fig. 9 presents changes of stress in strands for slabs 1 and 2. In the initial heating phase, stresses substantially increase to the level of 1130 MPa (slab 1) – 1250MPa (slab 2). This results from a high temperature difference between the outermost heated fibre of the section and the fibre at the level of the strands. The compression in the cover is balanced by the stress increase in strands. After reaching the peak, the stresses drop to approx. 800 MPa. In the initial stage, the drop results from the equalizing of thermal strains, and later from the development of steel creep strains.

Despite the significant differences in the deformations of the analysed structures, the obtained fire resistance values in

sytuacjach obliczeniowych są zbliżone. Modele IM dostarczają nieznacznie mniej konserwatywnej (około 10%) informacji o odporności ogniowej analizowanych konstrukcji w porównaniu z podejściami EM.

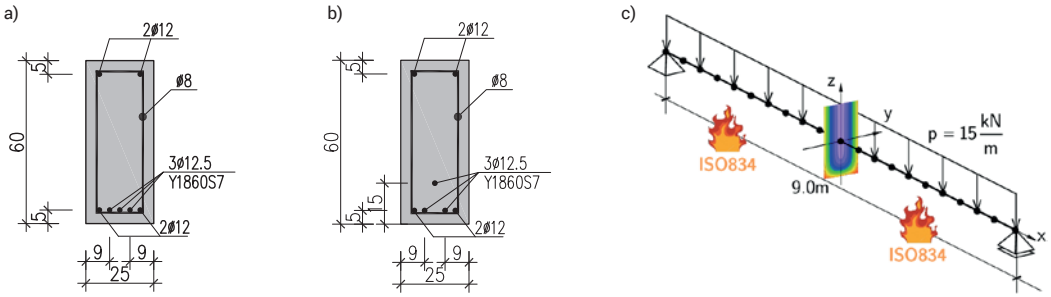
the specific computational cases are similar. The IM models provide slightly less conservative (approx. 10%) information on the fire resistance of the analysed structures in comparison to the EM approach.

Elementy belkowe – studium parametryczne

Analizowane elementy mają przekrój prostokątny o wymiarach przedstawionych na ryc. 10a i b. Elementy są wolnopodparte, całkowita ich rozpiętość wynosi 9,0 m – ryc. 10c. Obciążenie konstrukcji jest równomiernie rozłożone, w chwili rozpoczęcia nagrzewu wynosi 15 kN/m, co stanowi około 50% obciążenia niszczącego. Rozpatrzono dwa typy konfiguracji splotów – ryc. 10a i b. Naprężenie w splotach (wstępne po stratach oraz od obciążenia) w chwili rozpoczęcia nagrzewu wynosi 1103 MPa (typ 1) i 1094–1109 MPa (typ 2).

Beam elements – a parametric study

The analysed elements have a rectangular cross-section with dimensions presented in Figs. 10a and b. The elements are simply supported, with a total span of 9.0 m – Fig. 10c. The load is evenly distributed, and at the moment of starting the heating it amounts to 15 kN/m, which accounts for approx. 50% of the failure load. Two types of strand configuration were considered – Fig. 10a and b. The stress in the strands (initial stress after losses and from the load) at the heating onset amounts to 1103 MPa (type 1) and 1094-1109 MPa (type 2).



Rycina 10. a) przekrój poprzeczny – element typu 1, b) przekrój poprzeczny – element typu 2, c) schemat statyczny i model MES analizowanego elementu
Figure 10. a) cross-section – type 1 element, b) cross-section – type 2 element, c) static diagram and FEM model of the analysed structure
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Parametry mechaniczne betonu w temperaturze zwykłej i wysokiej przyjęto jak dla klasy C45/55. Zbrojenie sprężające stanowią sploty siedmiodrutowe ze stali gatunku Y1860S7 o wytrzymałości na rozciąganie 1860 MPa i umownej granicy plastyczności 1600 MPa. W podejściu EM właściwości reologiczne stali splotów w wysokiej temperaturze przyjęto na podstawie pracy [22] jak dla stali BS 5896. Granica plastyczności stali zbrojeniowej zwykłej wynosi 500 MPa, a ciągliwość odpowiada klasie C. Parametry mechaniczne w wysokiej temperaturze tej stali dobrano na podstawie [3] jak dla klasy N. Parametry reologiczne w podejściu EM ustalono na podstawie pracy [21] jak dla stali ASTM A 36-66.

Dyskretyzacja konstrukcji pokazana jest na ryc. 10c. Na poziomie przekroju poprzecznego wymiar elementu skończonego wynosi 1,25 cm x 1,5 cm, a przęsło podzielono na 20 elementów skończonych. Program nagrzewu belek prowadzony był według standardowej krzywej temperatura-czas ISO 834 [29]. Ogrzewano spód belki i powierzchnie boczne zakładając radiacyjną i konwekcyjną składową gęstości strumieni ciepła w kierunkach normalnych do tych powierzchni.

Wyniki obliczeń belek zostały przedstawione na ryc. 11–13. Na ryc. 11a pokazano rezultaty otrzymane dla różnych modeli efektów pełzania stali zbrojeniowej i sprężającej (podejścia IM i EM) oraz wpływ konfiguracji splotów na przebieg krzywych ugięcie – czas trwania pożaru. Bez względu na sposób uwzględniania pełzania stali zbrojeniowej w przebiegu

The mechanical parameters of concrete at normal and high temperature were adopted as for class C45/55. The prestressing reinforcement consists of seven-wire strands made of steel Y1860S7 with a tensile strength of 1860 MPa and the 0.1% proof-stres of 1600 MPa. In the EM approach, the rheological properties of prestressing steel at high temperature were adopted on the basis of [22], as for steel BS 5896. The yield stress for reinforcing steel is 500 MPa, and its ductility corresponds to class C. The mechanical parameters of this type of steel at high temperatures were selected on the basis of [3] as for class N. The rheological parameters in the EM approach were determined on the basis of [21], as for steel ASTM A 36-66.

The structure's discretisation is presented in Fig. 10c. At the cross-section level, the finite element size is 1.25 cm x 1.5 cm, and the span was divided into 20 finite elements. The beam heating programme was executed according to the standard temperature-time curve in line with ISO 834 [29]. The bottom and lateral surfaces of the beam were heated, assuming the radiation and convection heat flux in directions normal to these surfaces.

Results of the calculations are presented in Figs. 11–13. Fig. 11a shows the results obtained for various models of the effects of reinforcing and prestressing steel creep (the IM and EM approaches) and shows the effect of strands configuration on the course of the deflection/ time of fire curves. Regardless

ISSN 1895-8443

krzywych deformacje – czas nagrzewu można wyróżnić trzy fazy. Pierwsza faza charakteryzuje się dużym przyrostem deformacji, następna zbliżona jest do liniowej zmiany przemieszczenia w czasie nagrzewu. Ostatnia faza to wyraźny rozwój odkształceń pełzania z dużymi przyrostami deformacji prowadzącymi do zniszczenia. Modele stali typu IM, podobnie jak w przypadku płyt, prowadzą do zwiększenia odporności ogniowej o około dziesięć procent. Podobnego rzędu jest wpływ konfiguracji splotów w przekroju.

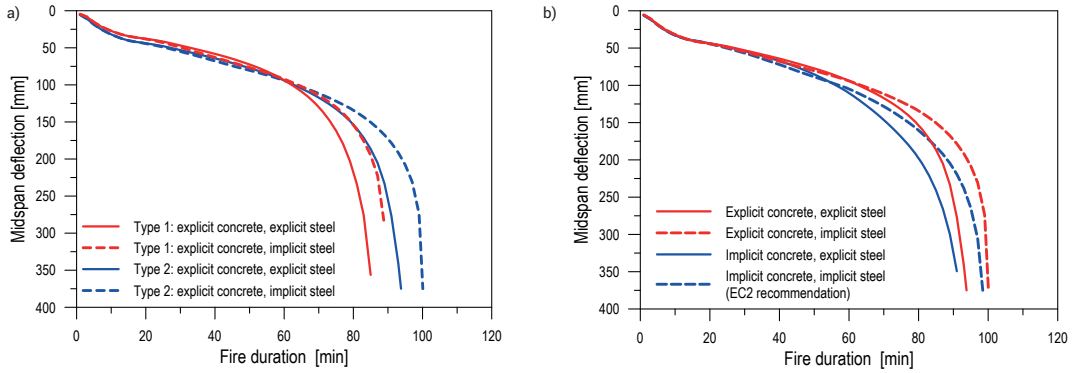
Na ryc. 11b przeanalizowany został wpływ podejścia do modelowania odkształceń pełzania betonu w niestacjonarnym polu termicznym na odpowiedź konstrukcji. Obliczenia przeprowadzono dla belki typu 2. Model betonu typu IM prowadzi do większych deformacji niż model EM dla danej chwili czasowej. Przyjęty model pełzania betonu ma niewielki wpływ na odporność ogniową elementu. Wynika to z faktu, że w okresie poprzedzającym zniszczenie praktycznie cały przekrój jest zarysowany – ryc. 11d. Strefa ściskana zlokalizowana jest po nienagrzewanej stronie przekroju, zatem rozwój odkształceń pełzania w niestacjonarnym polu termicznym jest ograniczony (ryc. 13c) i ma niewielki wpływ na osiąganą odporność ogniową.

Na ryc. 12 przedstawiono pola temperatury i naprężeń po 40 i 83 minutach nagrzewu konstrukcji w środku przęsła elementu typu 1. Duży gradient temperatury powoduje dodatkowy układ samorównoważących się naprężeń w przekroju. W efekcie w strefie środkowej rdzeń przekroju jest rozciągany, natomiast przy ogrzewanych powierzchniach bocznych występuje ściskanie. Układ naprężeń zmienia się dopiero bezpośrednio przed zniszczeniem na przedstawiony na ryc. 12d. Występuje tu wyraźna strefa ściskana przy krawędzi górnej, natomiast pozostała część przekroju jest zarysowana. Na ryc. 13 pokazano przykładowe rozkłady poszczególnych odkształceń przekroju poprzecznego w środku przęsła dla podejścia EM po 83 minutach nagrzewu. Efekty pełzania betonu w niestacjonarnym polu termicznym lokalizują się przy ogrzewanych krawędziach konstrukcji, gdzie zmiany temperatury w czasie są największe oraz występują naprężenia ściskające. Odkształcenia pełzania ε_{tr} mają przeciwny znak do odkształceń termicznych i mają charakter łagodzący, relaksujący duży gradient tych odkształceń.

of the manner of accounting for the reinforcing steel creep, three phases can be identified in the deflection/ time of fire curves. The first phase is characterised by a large strain increase, while the next phase is similar to a linear change of displacements during heating. The last phase marks the clear development of creep strains with large increases of deflection leading to failure. Similarly to the slabs the IM steel models lead to an increase in fire resistance by approx. 10%. The impact of strand configuration at the section is similar.

10%. The effect of strand configuration in the cross-section is similar. Fig. 11b illustrates the effect of the approach to concrete creep strain modelling of transient creep of concrete on the structure ' s mechanical response. The calculations were performed for a type 2 beam. The IM concrete model leads to greater deformations than the EM model for a specific time instant. The adopted concrete creep model has a limited inluence on the element's fire resistance. This results from the fact that in the period preceding the failure, cracks are presents throughout the section – Fig. 11d. The compressed area is located on the unheated side of the section, so the development of creep strains in the transient thermal field is limited (Fig. 13c) and has a marginal influence on the achieved fire resistance.

Fig. 12 presents temperature and stress fields after 40 and 83 minutes of heating the structure at the midspan of a type 1 element. A high temperature gradient results in an additional system of self-balancing stresses at the cross-section. As a result, at the midspan, the core of the section is subjected to tension whereas the heated lateral areas are compressed. The arrangement of stresses changes directly before failure to the one presented in Fig. 12d. There is a clearly visible compressed area at the upper edge, and the remaining part of the section is cracked. Fig. 13 demonstrates examples of the distribution of particular cross-section strains at the midspan for the EM approach after 83 minutes of heating. Concrete transient creep strains are located at the heated edges of the structure, where temperature changes in time are the highest and compressive stresses occur. Creep strains ε_{tr} have an opposite sign to thermal strains and have a relaxing effect on the high gradient of these strains.

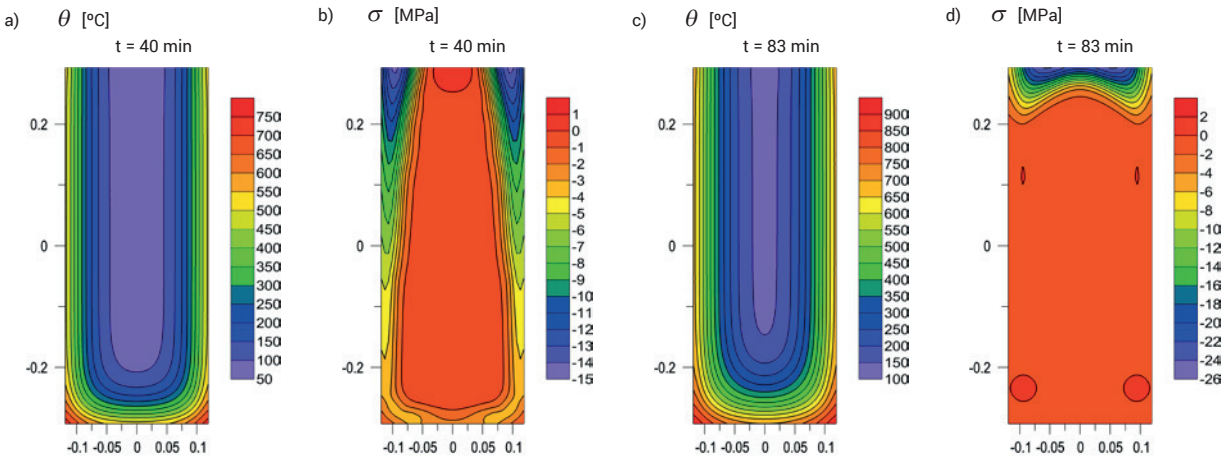


Rycina 11. Zależność czas nagrzewu – ugięcie przęsła: a) wpływ konfiguracji splotów i podejścia do modelowania pełzania stali (EM vs IM), b) efekt podejścia IM i EM do modelowania pełzania betonu w niestacjonarnych warunkach termicznych

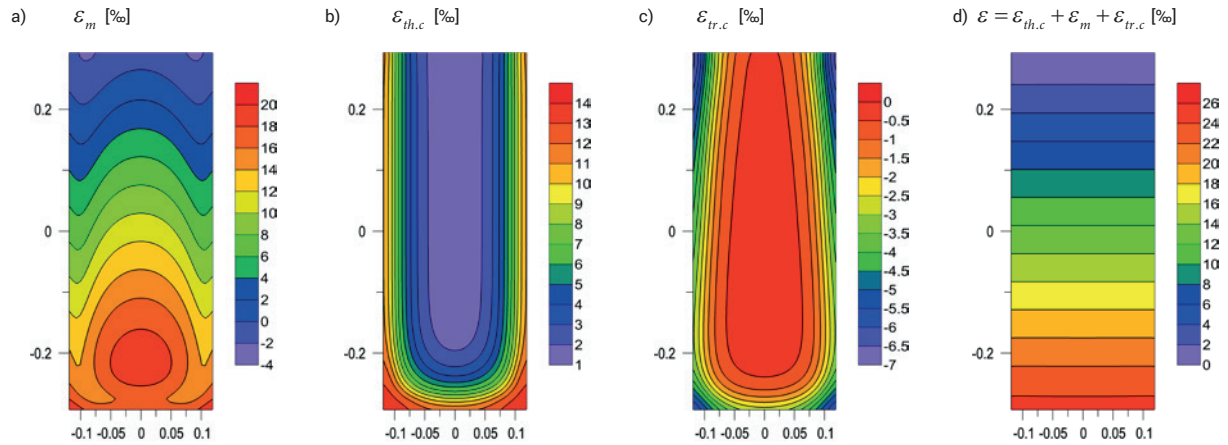
Figure 11. Time of heating – midspan deflection relations: a) the effect of strand configuration and the approach to the modelling of steel creep (EM vs. IM), b) the effects of the IM and EM approaches to modelling the transient creep of concrete

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



Rycina 12. Belka typu 1 – pola temperatury i naprężeń w przekroju po 40 i 83 min pożaru
Figure 12. Type 1 beam – stresses and temperatures at the section after 40 and 83 min of fire
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Rycina 13. Belka typu 1- odkształcenia w przekroju po 83 min pożaru (EM)
Figure 13. Type 1 beam – strains at the section after 83 minutes of fire (EM)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Uwagi ogólne i dyskusja wyników

Zaprezentowane w poprzednich punktach symulacje obliczeniowe dostarczają szeregu informacji na temat zachowania się elementów strunobetonowych w sytuacji pożaru. Wyniki obliczeń stanowią ważne uzupełnienie doświadczeń, między innymi ze względu na dużą trudność lub wręcz brak możliwości wykonania pomiaru eksperymentalnego wielu wielkości mechanicznych w trakcie pożaru (np. odkształceń w przekroju).

Zarówno elementy płytowe z jednowymiarowym przewodzeniem ciepła, jak i elementy belkowe z dwuwymiarowym polem temperatury zachowują się bardzo podobnie w procesie nagrzewu. W przypadku elementów płytowych można zaobserwować, że modele IM stali sprężającej prowadzą w przypadku elementów z grubszą otuliną zbrojenia do gorszych oszacowań odpor-

General notes and discussion of results

The computational simulations presented above provide a lot of information on the behaviour of pretensioned concrete elements in the case of fire. The results of calculations constitute a crucial addition to experiments, *inter alia*, due to the considerable difficulty, or even impossibility, of making experimental measurements of many mechanical values during a fire (e.g. strains at the section).

Both slab elements with a one-dimensional heat conduction and beam elements with a two-dimensional temperature field behave in a very similar way when heated. In the case of slab elements, it can be observed that the IM models of prestressing steel for elements with a thicker reinforcement cover lead to poor estimations of fire resistance. This evidently results from

ISSN 1895-8443

ności ogniowej. Jest to wyraźny efekt braku jawnej zależności odkształceń wysokotemperaturowego pełzania stali od czasu. Modele typu EM są w jawny sposób funkcją czasu, stąd symulacje obliczeniowe wykorzystujące podejście EM dla stali prowadzą do znacznie lepszej zgodności z eksperymentem.

Główną trudnością w stosowaniu modeli EM stali jest brak uniwersalnych wartości stałych materiałowych opisujących odkształcenie pełzania. Nawet w obrębie jednego typu stali (np. stal sprężająca obrabiana na zimno o niskiej relaksacji [21], [22], [24]) stałe materiałowe w równaniach od (9) do (11) istotnie różnią się w zależności od jej gatunku. Intensywność pełzania w wysokiej temperaturze i przebieg tego zjawiska obserwowany na poziomie makroskopowym jest między innymi wynikiem dyfuzji pierwiastków chemicznych stanowiących dodatek (np. mangan, krzem, chrom) w sieci krystalicznej utworzonej przez żelazo i węgiel. Dyfuzja tych pierwiastków prowadzi do powstania tzw. wakansów w sieci krystalicznej i przy jednoczesnym działaniu naprężenia związanych z tym dyslokacji w sieci krystalicznej stali [30]. Stąd istotna zależność zjawiska pełzania wysokotemperaturowego od składu chemicznego stali. Jednakże na etapie projektowania konstrukcji skład chemiczny stali nie jest cechą istotną i zwykle nie jest znany co utrudnia stosowanie modeli EM.

Duży gradient temperatury w przekroju analizowanych elementów prowadzi do powstania naprężeń ściskających wzdłuż nagrzewanego brzegu przekroju. Wewnątrz przekroju beton jest rozciągany lub zarysowany. Klasyczny układ naprężeń w przekroju (tzn. strefa ściskana przy włóknach górnych i zarysowana strefa rozciągana) powstaje na etapie nagrzewu bliskiemu zniszczeniu. W tym przypadku elementy strunobetonowe zachowują się podobnie jak zwykłe konstrukcje żelbetowe, które w początkowym etapie nagrzewu mają zdolność do domykania rys dzięki dużym przypowierzchniowym odkształceniom termicznym [11]. W wyniku tego mechanizmu gazy o wysokiej temperaturze nie penetrują w głąb przekroju, nawet jeżeli konstrukcja była zarysowana przed rozpoczęciem nagrzewu.

Podsumowanie i wnioski

W artykule przedstawiono metodę analizy obliczeniowej prętowych, zginanych konstrukcji sprężonych w sytuacji pożaru rozwiniętego opartą na siecznej sztywności. Zaprezentowano algorytm obliczeniowy podejścia 2Dθ+1DM. Przeprowadzono obliczenia strunobetonowych płyt sprężonych ogrzewanych od spodu i strunobetonowych belek ogrzewanych z trzech stron. Szczegółowej analizie poddano sposób uwzględniania odkształceń pełzania betonu w niestacjonarnych warunkach termicznych oraz pełzania stali zbrojeniowej i sprężającej. Na podstawie przeprowadzonych symulacji obliczeniowych można sformułować następujące wnioski:

1. Analiza obliczeniowa oparta na siecznej sztywności dobrze odtwarza zachowanie się elementów strunobetonowych w sytuacji jednoczesnego obciążenia mechanicznego i obciążenia wysoką temperaturą.
2. Sposób uwzględniania odkształceń pełzania betonu w niestacjonarnym polu termicznym nie ma większego

the lack of an explicit correlation between high-temperature steel creep and time. The EM models are an explicit function of time, thus numerical simulations employing the EM approach for steel lead to a considerably higher agreement between simulation results of simulations and experiments.

The main difficulty in applying EM models for steel is the lack of universal material constants describing creep strain. Even within one type of steel (e.g. low-relaxation cold-rolled prestressing steel [21], [22], [24]) material constants in equations (9) to (11) differ significantly depending on its grade. The intensity of creep at high temperature and the course of this phenomenon observed at the macroscopic level is, *inter alia*, the result of the diffusion of chemical elements constituting additives (e.g. manganese, silicon, chrome) in the crystalline network formed by iron and carbon. The diffusion of these elements leads to the so-called vacancies in the crystalline network. The vacancies with a simultaneous stresses result in the dislocations in the crystalline network of steel [30]. Therefore, there is a significant correlation between high-temperature creep and the chemical composition of steel. However, at the structure design stage, the chemical composition of steel is not a crucial characteristic and is usually not known, which makes EM models difficult to apply.

High temperature gradients in the cross-sections of the analysed elements lead to compressive stresses along the heated edges of the sections. Inside the cross-section, concrete is in tension or cracked. The typical distribution of stresses in the section (i.e. compressed area at the upper fibres and the cracked tension area) is created at the heating stage close to failure. In this case, pretensioned concrete elements behave similarly to ordinary reinforced concrete structures, which at the initial heating stage have the crack-closing ability due to high surface thermal strains [11]. As a result of this mechanism, high-temperature gases do not penetrate deep into the section even if the structure was cracked before heating.

Summary and conclusions

The article presented the computational analysis method for prestressed beam structures in the case of a developed fire based on secant stiffness. It explored a calculation algorithm for the 2Dθ+1DM approach. Calculations were performed for pretensioned concrete slabs heated from below and three-face heated pretensioned concrete beams. The method of accounting for concrete transient creep strains, reinforcing and prestressing steel creep strains was discussed in details. Based on the computational simulations, the following conclusions can be formulated:

1. The computational analysis based on secant stiffness accurately reflects the behaviour of pretensioned concrete elements in a situation of simultaneous mechanical and high-temperature loads.
2. The method of accounting for concrete transient creep strains does not have any major influence on the

wpływu na zachowanie się elementów strunobetonowych w sytuacji pożaru i nie prowadzi do istotnych różnic w obliczonej odporności ogniowej. Model uwzględniania efektów pełzania betonu przyjęty w obowiązującej normie do projektowania konstrukcji z betonu (Eurokod 2-1-2) jest zatem wystarczająco poprawny.

3. Modele stali zbrojeniowej i sprężającej, w których pełzanie jest uwzględniane w sposób bezpośredni, prowadzą do bliższych rzeczywistości wyników niż model typu IM. Generalnie model typu IM stali zbrojeniowej prowadzi do niedoszacowania ugięć konstrukcji.
4. Główne ograniczenie w obliczaniu konstrukcji strunobetonowych metodą EM stanowi brak uniwersalnych stałych materiałowych do opisu pełzania stali zbrojeniowych i sprężających wykorzystywanych w praktyce. Stałe te zależą między innymi od składu chemicznego stali, który jest różny w zależności od jej gatunku.
5. Wpływ podejścia EM i IM do modelowania efektów pełzania stali zbrojeniowej na obliczeniową odporność ogniową jest niewielki. Model EM prowadzi do oszacowań bardziej zgodnych z eksperymentem niż podejście IM. Różnica w uzyskanych w obliczeniach odpornościach ogniowych wynosi około 10%. Wartość ta w większości przypadków inżynierskich dotyczących elementów zginanych, strunobetonowych nie ma istotnego znaczenia z punktu widzenia bezpieczeństwa pożarowego konstrukcji.
6. W przypadku analizowanych konstrukcji strunobetonowych odkształcenia pełzania betonu w niestacjonarnym polu termicznym (podejście EM) osiągają niewielkie wartości. Jest to charakterystyczne w przypadku konstrukcji obciążonych bez udziału ściskającej siły podłużnej, których strefy ściskane są po stronie nienagrzewanej (zazwyczaj są to elementy jednoprzęsłowe, statycznie wyznaczalne). W przypadku konstrukcji tego typu odkształcenia pełzania w warunkach niestacjonarnych mają charakter relaksacyjny w odniesieniu do dużych odkształceń termicznych i ich gradientów w obszarach poddanych bezpośredniemu działaniu ognia.
7. Przedstawione podejście obliczeniowe może być z powodzeniem wykorzystane w rozwiązywaniu praktycznych problemów inżynierskich w procesie projektowania konstrukcji oraz w sytuacji eksperckiej oceny obiektów istniejących.

behaviour of pretensioned concrete elements in the case of fire and does not lead to any significant differences in the calculated fire resistance. The model for including concrete creep effects, as adopted in the currently binding standard for the design of concrete structures (Eurocode 2-1-2), is therefore sufficiently accurate.

3. Reinforcing and prestressing steel models in which creep is accounted for explicitly lead to more realistic results than the IM model. In general, the IM model of reinforcing steel leads to the underestimating of the deflection of structures.
4. The main limitation of the calculations for pretensioned concrete elements using the EM method is the lack of universal material constants to describe the creep of reinforcing and prestressing steel used in practice. These constants depend primarily on the chemical composition of steel, which differs depending on steel grade.
5. The effect of the EM and IM approaches to the modelling of reinforcing steel creep effects on the computed fire resistance is limited. The EM model leads to estimations which are more in line with experimental results than the IM approach. The difference in the calculated fire resistance amounts to approx. 10%. In most engineering cases referring to pretensioned concrete elements subjected to bending, this difference is not significant from the perspective of the structure's fire safety.
6. In the case of the analysed pretensioned concrete structures, transient creep strains of concrete (the EM approach) have low values. This is characteristic for structures loaded without any longitudinal compressive force, where compressed areas are on the unheated side (usually these are statically determined single-span elements). In the case of structures of this type, creep strains in transient conditions have a relaxing effect with reference to large thermal strains and their gradients in areas directly exposed to fire.
7. The presented computational approach can be successfully applied to solve practical engineering problems in the structure design process and for expert assessments of existing structures.

Literatura

[1] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 r. – Prawo budowlane (Dz.U. 2007 nr 44, poz. 287).

[2] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie z dnia 12 kwietnia 2002 r. (Dz.U. Nr 75, poz. 690).

[3] PN-EN 1992-1-2:2008 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu – Część 1–2: Reguły ogólne. Projektowanie z uwagi na warunki pożarowe.

[4] Seręga S., *A new simplified method for determining fire resistance of reinforced concrete sections*, w: *Proceedings of 6th International Conference Analytical Models and New Concepts in Concrete and Masonry Structures*, 383–384, CD, 2008.

[5] Meda A., Gambarova P.G., Bonomi M., *High-performance concrete in fire-exposed reinforced concrete sections*, "ACI Structural Journal" 2002, 99, 277–287.

[6] Gawin D., Pesavento F., Schrefler B.A., *Modeling of hygro-thermal behaviour of concrete at high temperature with thermo-chemical and mechanical material degradation*, "Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering" 2003,(192), 1731–1771.

[7] Seręga S., *Effect of transverse reinforcement spacing on fire resistance of high strength concrete columns*, "Fire Safety Journal" 2015, 71, 150–161.

[8] Bratina S., Planinc I., Saje M., Turk G., *NNon-linear fire-resistance analysis of reinforced concrete beams,* "Structural

 ISSN 1895-8443

Engineering and Mechanics" 2003, 16, 695–712, DOI: 10.12989/sem.2003.16.6.695.
[9] Capua D.D., Mari A.R., *Nonlinear analysis of reinforced concrete cross-sections exposed to fire*, "Fire Safety Journal" 2007, 42, 139–149.
[10] Kodur V.K.R., Dwaikat M., *A numerical model for predicting the fire resistance of reinforced concrete beams*, "Cement and Concrete Composites" 2008, 30, 431–443.
[11] Seręga S., Wosatko A., *Numerical prediction of fire resistance of RC beams*, w: *AIP Conference Proceedings*, 2018, 130001–1–130001–10.
[12] Andenberg Y., Thelandersson S., *Stress and Deformation Characteristics of Concrete at Elevated Temperatures*, Lund Institute of Technology, Lundt 1976.
[13] Nielsen C., Pearce C., Bicanic N., *Improved phenomenological modelling of transient thermal strains for concreter at high temperatures*, "Computers and Concrete" 2004, 1, 189–209.
[14] Gernay T., Franssen J.-M., *A formulation of the Eurocode 2 concrete model at elevated temperature that includes an explicit term for transient creep*, "Fire Safety Journal", 2012, 51, 1–9.
[15] ENV 1992-1-2:1995 Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1.2: General rules – Structural fire design.
[16] Hordijk D.A., *Local Approach to Fatigue of Concrete*, Delft University of Technology, 1991.
[17] Zhang B., Bicanic N., *Fracture energy of high-performance concrete at high temperatures up to 450C: the effects of heating temperatures and testing conditions*, "Magazine of Concrete Research" 2006, 58, 277–288.
[18] Weigler H., Fischer R., *Concrete at Temperatures between 100°C and 750°C*, "Beton Herstellung und Verwedung" 1964, 33–46.
[19] Persson B., *Self-compacting concrete at fire temperatures*, "Tech. Rep. TVBM" 2003, 3110, Lund University.
[20] Harmathy T.Z., *A comprehensive creep model*, "Transactions of the ASME Journal of Basic Engineering" 1967, 89, 496–502.
[21] Harmathy T.Z., Stanzak W.W., *Elevated temperature tensile creep properties of some structural and prestressing steels*, "American Society for Testing and Materials" 1970, 464, 186–208.
[22] Gales J., Robertson L., Bisby L., *Creep of prestressing steels in fire*, "Fire and Materials" 2016, 40, 875–895.
[23] Toric N., Sun R.R., Burgess I.W., *Creep-free fire analysis of steel structures with Eurocode 3 material model*, "Journal of Structural Fire Engineering" 2016, 7, 234–248.
[24] Wei Y., Zhang L., Au F.T.K., Li J., Tsang N.C.M. , *Thermal creep and relaxation of prestressing steel*, "Construction and Building Materials" 2016, 128, 118–127.
[25] Ruge J., Winkelmann O., *Method for the determination of a critical value in case of instationary heating when simulating the influence of fire on steel*, "Materialpruf" 1977, 19.
[26] Voves B., *Behaviour of prestressed concrete structures during fire*,. Czech Technical University, Prague 1978.
[27] Anderberg Y., *Properties of Materials at High Temperatures Steel*, Tech. rep., Division of Building Fire Safety and Technology, Lund Institute of Technology, 1983.
[28] Gustaferro A., Selvaggio S. L., *Fire endurance of simply supported prestressed concrete slabs*, "PCI Journal" 1967, 12, 37–52.
[29] PN-EN 1991-1-2:2004 Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-2: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania na konstrukcje w warunkach pożaru.
[30] Poirier J.P., *Creep of crystals: High-temperature deformation processes in metals, ceramics and minerals*, Cambridge University Press, 1985.

DR INŻ. SZYMON SERĘGA – jest adiunktem w Zakładzie Konstrukcji Żelbetowych w Instytucie Materiałów i Konstrukcji Budowlanych na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Krakowskiej. Jego zainteresowania naukowo-badawcze dotyczą doświadczalnych i obliczeniowych metod oceny nośności i trwałości konstrukcji z betonu, w szczególności zachowania się konstrukcji żelbetowych i sprężonych w sytuacji pożaru.

SZYMON SERĘGA, PH.D. ENG. – Assistant Professor at the Department of Reinforced Concrete Structures, the Institute Building Materials and Engineering Structures, the Faculty of Civil Engineering, the Cracow University of Technology. His scientific and research interests focus on experimental and computational methods for assessing the capacity and durability of concrete structures, and in particular the behaviour of reinforced concrete and prestressed structures in fire.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

др. тех. наук, проф. С.В. Поздеев / prof. S.V. Pozdieiev[a)], D.Sc., канд. техн. наук В.В. Нижник / V.V. Nizhnyk, Ph.D.[b)], ст. науч. сотр., канд. техн. наук Я.В. Балло / Y.V. Ballo, Ph.D.[b)], канд. техн. наук А.М. Нуянзин / A.M. Nuianzin, Ph.D.[a)], канд. техн. наук Р.В. Уханский / R.V. Uhanskyy, Ph.D.[b)], канд. техн. наук В.С. Кропивницкий / V.S. Kropyvnytskiy, Ph.D.[b)]

[a)]Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины / Cherkassy Fire Safety Institute named Heroes of Chernobyl, National University of Civil Defense of Ukraine
[b)]Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты / Research Institute of Civil Defense in Kiev
**Corresponding author: 2801397@ukr.net*

Обоснование безопасного противопожарного расстояния между ферментаторами для производства биогаза

The Rationale for a Safe Distance Between Fermenters for Biogas Production

Uzasadnienie bezpiecznego odstępu przeciwpożarowego między fermentatorami do produkcji biogazu

АНОТАЦИЯ

Введение: Во введении статьи приведено описание вопроса определения противопожарных расстояний для сооружений современного энергетического предприятия, функционирующего на альтернативных источниках энергии, а также одновременно производящего газ, электричество и тепло путем переработки отходов сельского хозяйства. Определены цель, объект и предмет исследований, а также приведены основные методы, использующиеся во время проведения научной работы. Приведен анализ процесса технологии производства биогаза, включающий определение наиболее опасного технологического сооружения комплекса по производству биогаза.

Методы: В первой части статьи приведены общее описание объекта, его конструктивных элементов и сценарии возникновения опасной ситуации, которые могут привести к пожару или взрыву на ферментаторе. Приведены результаты расчетов избыточного давления взрыва биогаза в ферментаторе, которые могут возникнуть в результате аварийной ситуации. Определена целостность элементов ферментатора под действием избыточного давления взрыва. Установлено, что расчетное избыточное давление взрыва не влияет на определение безопасных противопожарных расстояний между ферментаторами. В основной части статьи определен тип деформации для основных элементов конструкции наиболее опасного сооружения комплекса (полное разрушение или частичное повреждение) и обосновано последствия, к которым могут привести данные разрушения. Исследовано влияние размера отверстия через который вытекает и горит газ на диаметр факела и температуру пламени, создающего опасность для смежных сооружений. С помощью программных комплексов «FlowVision 2.5» и «MathCaD» разработаны и приведены схемы влияния механических сил на элементы конструкций ферментатора по производству биогаза, а также приведены графические модели развития горения ферментатора во время возможного пожара, включающего начальный этап горения и кульминационный момент пожара. По результатам расчетов по сценарию наиболее опасной аварии определено наибольшее возможное значение площади сечения факела и температуры пламени и приведен алгоритм расчета по определению безопасных расстояний между ферментаторами. Обосновано минимальное значение противопожарных расстояний между ферментороми для безопасной эксплуатации комплекса по производству биогаза.

Результаты и выводы: В заключительной части приведены основные результаты исследований, в частности решена актуальная научно-практическая задача обеспечения взрывопожарной безопасности производства биогаза, а также обоснована методика расчетной оценки безопасного расстояния между ферментатором для производства биогаза. Приведены выводы по результатам научной работы и список использованных авторами литературных источников.

Ключевые слова: пожарная безопасность, ферментатор, биогаз, противопожарное расстояние, противопожарные разрывы, моделирование пожара

Вид статьи: оригинальная научная статья

Принята: 08.06.2018; Рецензирована: 16.10.2018; Одобрена: 05.11.2018;
Процентное соотношение вклада в создание статьи: С.В. Поздеев – 25%, В.В. Нижник – 20%, Я.В. Балло – 25%, А.М. Нуянзин – 10%, Р.В. Уханский – 10%, В.С. Кропивницкий – 10%;
Идентификаторы ORCID авторов: С.В. Поздеев – 0000-0002-9085-0513, В.В. Нижник – 0000-0003-3370-9027, Я.В. Балло – 0000-0002-9044-1293, А.М. Нуянзин – 0000-0003-2527-6073, Р.В. Уханский – 0000-0002-8312-5233, В.С. Кропивницкий – 0000-0002-3527-7283;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 60–67, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.4;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Introduction: The introduction to this paper deals with the question of defining fire-prevention distances for constructions in a modern energy enterprise operating on alternative energy sources, which can also simultaneously produce gas, electricity and heat from agricultural waste. The purpose, object and subject of the research are defined, and the basic methods used during the scientific work are presented. The analysis of the process of biogas production technology, which includes the indication of the most dangerous technological structure in the biogas production complex also involves an analysis of the existing means of fire protection, including the main technological equipment.

Methods: The first part of the article gives a general description of the object, its constructive elements and scenarios of the emergence of a hazardous situation, which can lead to a fire or explosion in the fermenters. The effect of the size of the hole through which the gas flows and burns on the diameter of the flame and its temperature, creating a hazard for adjacent structures, was investigated. The results of calculations of the excess pressure of the explosion of biogas in the fermenter, which can occur as a result of an emergency situation, are demonstrated. The integrity of the fermenter elements was determined in the conditions of an excess explosion pressure, and the effect of the excess explosion pressure on the calculation of safe distances was demonstrated. The main part of the article defines the type of deformation in the main structural elements of the most dangerous structure in the complex (complete or partial destruction or damage) and, to a reasonable extent, the consequences to which this destruction can lead. The effect of the size of the hole through which the gas flows and burns on the diameter of the flame and its temperature, which creates a hazard for adjacent structures, was investigated. Using the "FlowVision 2.5" software packages and "MathCaD" software suites, the schemes of impact of the main forces on the elements of the fermenter's biogas plants and the graphical models of the development of combustion in the fermenter during a possible fire, including the initial stage of burning and the fire climax, are presented. Based on the results of calculations for the scenario of the most dangerous accident, the maximum possible values of the height and radius of the flame, the cross-sectional area of the flame and the flame temperature are determined. The algorithm for calculating the safe distances between fermenters for the production of biogas is given. A justification for the minimum fire distances between the fermenters for the safe operation of the biogas production is given.

Results and conclusions: The final part contains the main results of the research, in particular, of the actual scientific and practical task of ensuring explosion safety in biogas production. Furthermore, the method of estimating the safe distances between the fermenters for biogas production is substantiated. Conclusions on the results of scientific work are presented and a list of literary sources used by the authors is indicated.

Keywords: fire safety, fermenter, biogas, fire distance, fire breaks, fire modeling

Type of article: original scientific article

Received: 08.06.2018; Reviewed: 16.10.2018; Accepted: 05.11.2018;

Percentage contribution: S.V. Pozdieiev – 25%, V.V. Nizhnyk – 20%, Y.V. Ballo – 25%, A.M. Nuianzin – 10%, R.V. Uhanskyy – 10%, V.S. Kropyvnytskiy – 10%;

Authors' ORCID IDs: S.V. Pozdieiev – 0000-0002-9085-0513, V.V. Nizhnyk – 0000-0003-3370-9027, Y.V. Ballo – 0000-0002-9044-1293, A.M. Nuianzin – 0000-0003-2527-6073, R.V. Uhanskyy – 0000-0002-8312-5233, V.S. Kropyvnytskiy – 0000-0002-3527-7283;

Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 60–67, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.4;

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

ABSTRAKT

Wprowadzenie: We wprowadzeniu do artykułu zawarto opis kwestii ustalenia przeciwpożarowych odstępów dla urządzeń współczesnego przedsiębiorstwa energetycznego, funkcjonującego na alternatywnych źródłach energii, a także jednocześnie produkującego gaz, elektryczność i ciepło drogą przetwarzania odpadów gospodarstwa rolnego. Określono cel, obiekt i przedmiot badań, a także przytoczono główne metody wykorzystane w czasie prowadzenia pracy naukowej. Przytoczono analizę procesu technologii produkcji biogazu, uwzględniającą ustalenie najbardziej niebezpiecznego technicznego urządzenia kompleksu do produkcji biogazu.

Metody: W pierwszej części artykułu przytoczono ogólny opis obiektu, jego elementów konstrukcyjnych oraz scenariusze zaistnienia niebezpiecznej sytuacji, które mogą doprowadzić do pożaru lub wybuchu w komorze fermentacyjnej. Przytoczono rezultaty wyliczeń nadmiernego ciśnienia wybuchu biogazu w fermentatorze, które mogą pojawić się w rezultacie sytuacji awaryjnej. Określono całość elementów fermentatora pod działaniem nadmiernego ciśnienia wybuchu. Ustalono, że obliczeniowe nadmierne ciśnienie wybuchu nie wpływa na określenie bezpiecznych odstępów przeciwpożarowych między fermentatorami. W głównej części artykułu określono typ deformacji dla głównych elementów konstrukcji najbardziej niebezpiecznego urządzenia kompleksu (całkowite zniszczenie lub częściowe uszkodzenie). Zbadano wpływ rozmiaru otworu, przez który wypływa i płonie gaz, na średnicę pochodni i temperaturę płomienia, stwarzającego niebezpieczeństwo dla urządzeń sąsiednich. Przy pomocy kompleksów programowych „FlowVision 2.5" i „MathCaD" opracowano i przytoczono schematy wpływu sił mechanicznych na elementy konstrukcji fermentatora do produkcji biogazu, a także przytoczono graficzne modele rozwoju palenia się fermentatora w czasie możliwego pożaru, włączającego początkowy etap palenia się i kulminacyjny moment pożaru. Na podstawie rezultatów wyliczeń według scenariusza najniebezpieczniejszej awarii obliczono najbardziej prawdopodobną wartość pola przekroju pochodni i temperatury płomienia i przytoczono algorytm wyliczeń dla określenia bezpiecznych odległości miedzy fermentatorami. Uzasadniono minimalną wartość odstępów przeciwpożarowych między fermentatorami dla bezpiecznej eksploatacji kompleksu do produkcji biogazu.

Wyniki i wnioski: W części końcowej przytoczono główne rezultaty badań, przede wszystkim rozwiązano aktualne naukowo-praktyczne zadanie zapewnienia bezpieczeństwa pożarowego i wybuchowego dla produkcji biogazu, a także uzasadniono metodykę szacunkowej oceny bezpiecznego odstępu między fermentatorami do produkcji biogazu. Przytoczono wnioski z rezultatów pracy naukowej i listę wykorzystanych przez autorów źródeł literatury.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo pożarowe, fermentator, biogaz, odstęp przeciwpożarowy, oddzielenie przeciwpożarowe, modelowanie pożaru

Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 08.06.2018; Zrecenzowany: 16.10.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;

Procentowy wkład merytoryczny: S.V. Pozdieiev – 25%, V.V. Nizhnyk – 20%, Y.V. Ballo – 25%, A.M. Nuianzin – 10%, R.V. Uhanskyy – 10%, V.S. Kropyvnytskiy – 10%;

Identyfikatory ORCID autorów: S.V. Pozdieiev – 0000-0002-9085-0513, V.V. Nizhnyk – 0000-0003-3370-9027, Y.V. Ballo – 0000-0002-9044-1293, A.M. Nuianzin – 0000-0003-2527-6073, R.V. Uhanskyy – 0000-0002-8312-5233, V.S. Kropyvnytskiy – 0000-0002-3527-7283;

Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 60–67, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.4;

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

Введение

На сегодняшний день в Украине действует достаточно исчерпывающая нормативная база в области строительства и организации противопожарных мероприятий, включающая вопросы соблюдения пожарной безопасности при проектировании, реконструкции и эксплуатации энергетических предприятий. Противопожарные расстояния следует устанавливать в зависимости от назначения, категории по взрывопожарной и пожарной опасности, степени огнестойкости сооружений в соответствии с требованиями нормативных документов, действующих на территории Украины [1].

Реформирование энергетической отрасли, совершенствование существующих технологий и создание новых способов производства энергии способствующих развитию нетипичных энергетических предприятий с новым нестандартным оборудованием и технологическими процессами, риск возникновения и масштаб опасных ситуаций которых сегодня не исследован, поэтому противопожарные требования для них фактически отсутствуют. В таком случае определение величины противопожарных расстояний могут осуществляться с использованием расчетных методов [2].

Примером современного, нетипичного энергетического предприятия является комплекс по производству биогаза (далее – Комплекс), построенный в пгт Ракитное Киевской области. Особенность заключается в том, что объект одновременно может производить газ, электричество и тепло, путем генерации газа из отходов сельского хозяйства. В связи с отсутствием нормативных требований, в частности относительно противопожарных расстояний для таких производств, актуальной задачей является обоснование безопасного расстояния между ферментатором по производству биогаза на основе вычислительного эксперимента по моделированию опасных факторов взрыва и пожара при нарушении нормального режима работы ферментатора.

Цель исследований

Целью исследований является обоснование безопасного расстояния между ферментаторами путем моделирования пожара и его развития в ферментаторе для производства биогаза. Объект исследования – процессы тепломассообмена при взрыве и возможного пожара в ферментаторе, что применяется в технологии производства биогаза. Предметом исследований является влияние теплового потока пожара и избыточного давления взрыва на безопасные расстояния между ферментаторами по производству биогаза.

Методы исследования

В работе использованы расчетный метод определения избыточного давления взрыва газовоздушной смеси, расчетный метод определения прочности резервуара в случае взрыва внутри его объема, метод компьютерного моделирования с помощью программного комплекса FlowVision 2.5 на основе систем дифференциальных уравнений непрерывных сред типа уравнений Навье-Стокса, решение уравнений Стефана-Больцмана в условиях нагрева при пожаре и уравнений теплопроводности Фурье, математические методы обработки результатов исследований с использованием программного обеспечения MathCaD и Microsoft Office Excel.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи исследований:

- рассмотреть и выполнить техническое описание объекта и технологии производства биогаза с помощью ферментаторов и определить расчетные сценарии возможной аварии с возникновением и развитием возможного пожара и взрыва во внутреннем пространстве ферментатора;
- с использованием разработанных сценариев аварийной ситуации выполнить расчетную оценку избыточного давления взрыва газовоздушной смеси в газгольдере ферментатора и оценку геометрии зоны возможного разброса обломков ферментатора;
- изучить геометрию и энергетические параметры факела пожара над ферментатором с использованием методов вычислительной газогидродинамики и получения обоснованной величины безопасного расстояния между ферментаторами на основе полученных результатов.

Описание объекта

Технологическим процессом предусмотрена ферментация (сбраживание) сырого биологического сырья (силоса, отходов от сахарной свеклы, кукурузы и т.д.) в метантенках с постепенным выделением биологического газа, временно накапливаемого в газгольдерах, а затем подаваемого на хозяйственные нужды или для сжигания в генераторной для производства тепла и электроэнергии. Основным сооружением Комплекса производства биогаза является ферментатор с максимальным объемом газа 217 м^3, состоящий из двух основных ограждающих частей, а именно упругой оболочки из полиэфирной ткани баллистического плетения с двухсторонним полиуретановым покрытием, затянутой кольцом (кровля ферментатора), и железобетонного резервуара (корпус ферментатора) (рис. 1).

ISSN 1895-8443

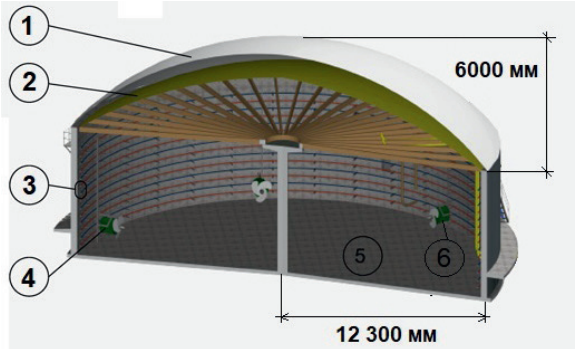


Рисунок 1. Внешний вид и сечение ферментатора (1 – купол; 2 – мембрана; 3 – система обогрева; 4 – механические мешалки; 5 – ферментатор)

Figure 1. The external view of a fermenter (1 - dome; 2 – membrane; 3 – heating system; 4 – mechanical agitators; 5 – fermenter)

Источник: Собственная разработка.

Source: Own elaboration.

Высота оболочки ферментатора – H1 = 6000 мм; толщина оболочки – h = 0,9 мм; радиус опорного кольца – r_1 = 12300 мм. Расчет ограждающей конструкции ферментатора выполнялся для пояса высотой 1 м на высоте 1,5 м от дна, так как на него действует максимальное суммарное усилие избыточного давления газа и гидростатического давления жидкости. Нижний пояс не принимался во внимание, учитывая, что он снаружи находится в почве. Расчеты выполнялись с учетом конструктивных особенностей резервуара из сборного железобетона, общая высота которого составляла 8500 мм, а диаметр – 24600 мм (рис. 1).

Стенка цилиндра жестко связана с плитой днища, средняя толщина стенки составляет 300 мм с учетом защитного слоя. Средняя плотность армированного железобетона – 2500 кг/м^3, используется арматура А500С, имеющая норматив сопротивления растяжению до 500 МПа. Резервуар заполнен жидкостью (мокрый ил) с удельным весом 16,5 кН/м3, на высоту 8000 мм. Коэффициент надежности по нагрузке – 1,2.

Описание аварии, которая может возникнуть во время эксплуатации ферментатора в результате нарушения технологического процесса или механического повреждения:

- разгерметизация мембраны газгольдера и образования в его объеме газовоздушной смеси, которая при наличии источника зажигания (короткое замыкание в смесителе осадка) вызывает взрыв;
- механическое повреждение верхней защитной оболочки ферментатора и мембраны, вследствие чего происходит утечка газа из резервуара, который при наличии источника зажигания может воспламениться и поддерживать горение.

Учитывая, что территория парка газгольдеров защищена молниезащитой, сценарий попадания молнии в газгольдер не рассматривается. Дополнительные средства противопожарной защиты газгольдера отсутствуют. Во время взрыва в одном из ферментаторов возникает возможность повреждения его конструкций и их разброса в пространстве, что может привести к повреждению верхней защитной оболочки соседнего ферментатора с последующим развитием аварии. Поэтому условием безопасного расстояния между ферментатором по сценарию взрыва избрано максимально возможное расстояние разлета обломков ферментатора.

Избыточное давление взрыва определялось согласно [3]. Из общего объема биогаза в ферментаторе максимальный объем метана (CH_4) составляет около 75%, то есть 162,75 м^3, диоксид углерода (CO_2) 15%, сероводород (H_2S) 2%, Водород (H) 0-1% и другие газы. Масса метана, которая нужна для зажигания объема при температуре t = 20°C и давлении 101,8 кПа, составляет 101,91 кг. Взрывоопасная концентрация метана — 9,5%. При концентрации более 16% метан горит без взрыва. Объем воздуха необходимый для полного сгорания биогаза такой массы составляет 1519,85 м^3.

При объеме биогаза 217 м^3 количество воздуха в газгольдере составляет 483 м^3, то есть воздуха недостаточно для полного сгорания газа. При таких условиях масса газа, которая будет принимать участие в горении, будет составлять 31 кг.

Стехиометрическая концентрация для CH_4 ($C_{ст}$) составляет 9,36%. Объем газа соответствующий этой концентрации, составляет 65,52 м^3. Масса метана, которая необходима для сжигания такого объема, составляет 41,03 кг.

Подставив исходные данные в формулу (1) определено, что избыточное давление взрыва в случае разгерметизации оболочки ферментатора составляет 101,35 кПа.

$$\Delta P = \left(Pmax - P_0\right) \cdot \frac{m \cdot z}{V_{свобод} \cdot \rho_{г.п.}} \cdot \frac{100}{C_{ст}} \cdot \frac{1}{K_н} \qquad (1)$$

где *Pmax* – максимальное давление взрыва стехиометрической газо- или паровоздушной смеси в замкнутом объеме, которое определяют опытным путем или принимают по справочным данным. В случае отсутствия таких данных разрешено принимать *Pmax* равным 900 кПа;

P_0 – атмосферное давление, кПа (разрешено принимать равным 101,3 кПа);

m – масса горючих газов (ГГ), попавших в результате расчетной аварии в объем помещения, определяемые для ГГ по формуле [3], кг;

Z – коэффициент участия ГГ, который может быть рассчитан на основании характера распределения газов и паров в объеме помещения согласно приложению. Разрешено принимать значение Z [таблица 2];
$V_{свобод}$ – свободный объем помещения, м^3;
$\rho_{г.п.}$ – плотность ГГ при расчетной температуре tp, кг · м$^{-3}$,
$C_{ст}$ – стехиометрическая концентрация, г/м^3.

На устойчивость к рассчитанному избыточному давлению взрыва проведена оценка двух элементов ферментатора: внешняя упругая оболочка ферментатора и его оградительная железобетонная конструкция для резервуара.

Условием разрушения элементов ферментатора являются:

$$\sigma_x \geq \sigma_{доп} \tag{2}$$

где σ_x – избыточное давление взрыва (при оценке внешней оболочки ферментатора) или избыточное давление взрыва и гидростатическое давление жидкости (при оценке целостности ограждающей железобетонной конструкции ферментатора), Па;
$\sigma_{доп}$ – давление при котором разрушаются внешняя оболочка газгольдера и ограждающая конструкция метантенка, Па.

При оценке действия сил на внешнюю оболочку ферментатора σдоп определяется по формуле:

$$\sigma_x = \frac{-P \cdot R_1 \cdot r_1}{2} \cdot \frac{\cos(\alpha) - \mu \frac{\sqrt{R_1 \cdot h_1}}{r_1}}{F_1 + \mu \cdot h_1 \cdot \sqrt{R_1 \cdot h_1}} \tag{3}$$

где P – избыточное давление газов, в рабочем режиме, 0.5 кПа; R_1 – радиус от зеркала поверхности биологической сброженой массы до стенки оболочки ферментатора, м; r1 – радиус опорного кольца резервуара сбраживания осадка, м; F_1 – сила сопротивления опорного кольца упругой оболочки, кПа, μ – коэффициент Пуассона (= 0,45); h_1 – толщина оболочки (= 0,9 мм).

На рис. 2 приведена расчетная схема действия сил на внешнюю оболочку ферментатора.

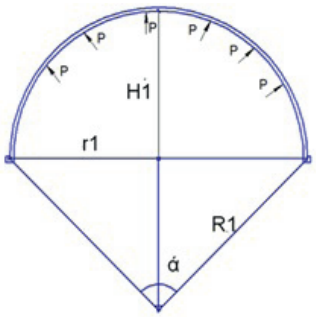


Рисунок 2. Расчетная схема действия сил на внешнюю оболочку ферментатора
Figure 2. The design model of the action of forces on the outer shell of the fermenter
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

Подставив значения исходных данных [1] в формулу (3) по результатам расчетов, предельное нарушение целостности материала оболочки ферментатора составляет 93,3 кПа. Поскольку избыточное давление взрыва при оценке ограждающей конструкции резервуара сбраживания осадка ферментатора, $\sigma_{доп}$ принимаем равным нормативному сопротивлению для осевого растяжения железабетона (марка бетона В55 и арматуры марки А500С), что составляет 2,45 МПа [4]. На рис. 3 приведена схема действия гидростатических сил на резервуар ферментатора.

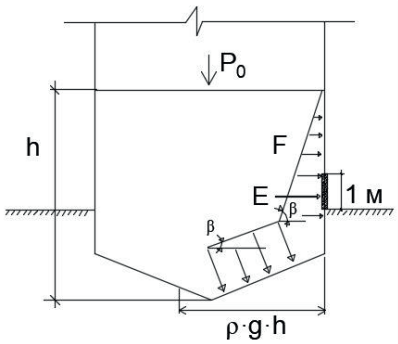


Рисунок 3. Расчетная схема действия гидростатических сил на резервуар ферментатора
Figure 3. The design model of the action of hydrostatic forces on the fermetator's tank
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

ISSN 1895-8443

Гидростатическое давление определяем по формуле (4) и оно составляет 5,9 кПа.

$$P_x = \gamma_g \cdot \left(H_k - x_k\right) \cdot \gamma_f \quad (4)$$

где γ_g – удельный вес жидкости в резервуаре, $\frac{kN}{m^3}$;
H_k – высота цилиндрической стены, мм;
x_k – высота жидкости, мм;
γ_f – коэффициент надежности (принято 1,2).

Результаты расчетов показали, что внешняя упругая оболочка ферментатора при воздействии на нее нормативного давления взрыва разрушается, при этом поскольку сумма избыточного давления взрыва и гидростатическое давление жидкости на стенки ферментатора не превышает значения сопротивления для растяжения железобетонной конструкции [4], то таким образом избыточное давление взрыва не влияет на определение безопасных расстояний между ферментаторами.

При возникновении горения в одном из ферментаторов на соседний действует тепловой поток, при достижении критических значений которого возможна разгерметизация внешней оболочки ферментатора с последующим распространением пожара. Так же, во время моделирования учитывалось среднее значение бокового ветра величиной 5 м/с. Для определения плотности теплового потока, излучаемого горящим ферментатором, исследовалось влияние диаметра отверстия, через который вытекает и горит газ, на температуру пламени и площадь сечения факела пламени. Поэтому, условием определения безопасного расстояния между ферментаторами принимаем неравенство:

$$q_{опр} \leq q_{доп} \quad (5)$$

где: $q_{опр}$ – плотность теплового потока, создаваемого факелом пламени пожара; $q_{доп}$ – допустимый тепловой поток.

Расчетная модель ферментатора приведена на рисунке 4.

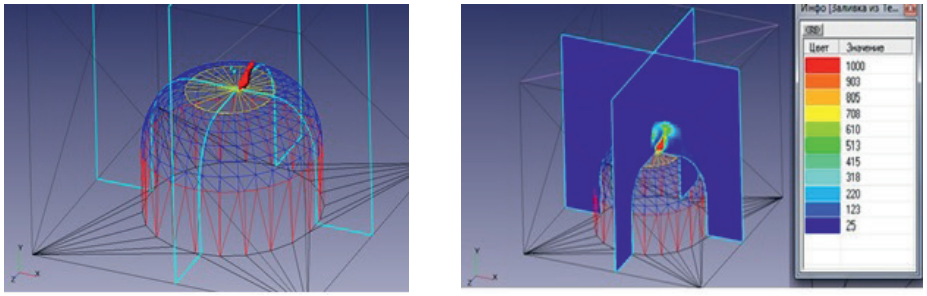
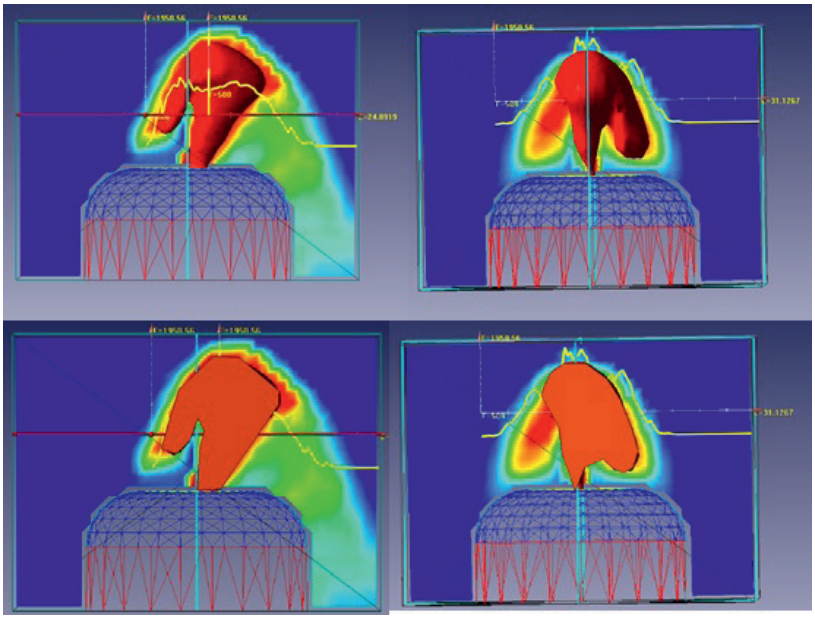


Рисунок 4. Расчетная модель ферментатора в момент возгорания
Figure 4. The design model of the fermetator at the ignition time
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.



а б

Рисунок 5. Графическая модель развития горения: а – начальный этап развития пожара, б – кульминационный момент пожара
Figure 5. The graphic model of combustion development: a – the initial stage of fire, b – the climax of the fire
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

По результатам расчетов определено, что наибольшее значение высоты и радиуса факела пламени составляет 15,4 м и 14,7 м соответственно, площади сечения факела пламени и температуры пламени достигает при диаметре 1000 мм для отверстия через которое вытекает газ. В то же время наибольшая температура пламени достигает около 1130°С, а площадь сечения факела пламени составляет 188,4 м^2. Визуализация результатов расчета приведена на рис. 5.

Расчет плотности теплового потока, излучаемого горящим ферментатором, производится по формуле закона Стефана-Больцмана [5–6] в кульминационный момент пожара:

$$q_{опр} = \varepsilon_{ф,ω} C_0 \left(\left(\frac{T_ф}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_ω}{100} \right)^4 \right) \psi_{ф,ω} \quad (6)$$

где $\varepsilon_{ф,ω}$ – приведена степень черноты; C_0 – константа излучения абсолютно черного тела; $T_ф$ – температура факела, $T_ω$ – температура поверхности, которая облучается, $\psi_{ф,ω}$ – коэффициент облучения поверхности тела.

По результатам расчетов определено, что наибольшее значение плотности теплового потока, излучаемого горящим ферментатором составляет 93916,71 кВт/м^2.

Значение допустимого теплового потока $q_{доп}$ для облучаемого ферментатора получим с уравнения времени достижения критической температуры материала на действующие высокие температуры и определяем по формуле:

$$q_{доп} = c \cdot r \cdot L \cdot (T_2 - T_1) / (t \cdot h) \quad (7)$$

где с – удельная теплоемкость материала, Дж/(м^3 · К); ρ – плотность материала кг/м^3; L – толщина слоя материала, м; T_1 – начальная температура, С^0; T_2 – критическая температура, С^0; t_2 – время, в течение которого достигается критическая температура, с; η – коэффициент поглощения.

По результатам расчетов определено, что значение допустимого теплового потока $q_{доп}$ составляет 34,875 кВт/м^2.

Алгоритм расчета безопасного расстояния между ферментаторами по сценарию возникновения пожара в [7], приведены на рис. 6.

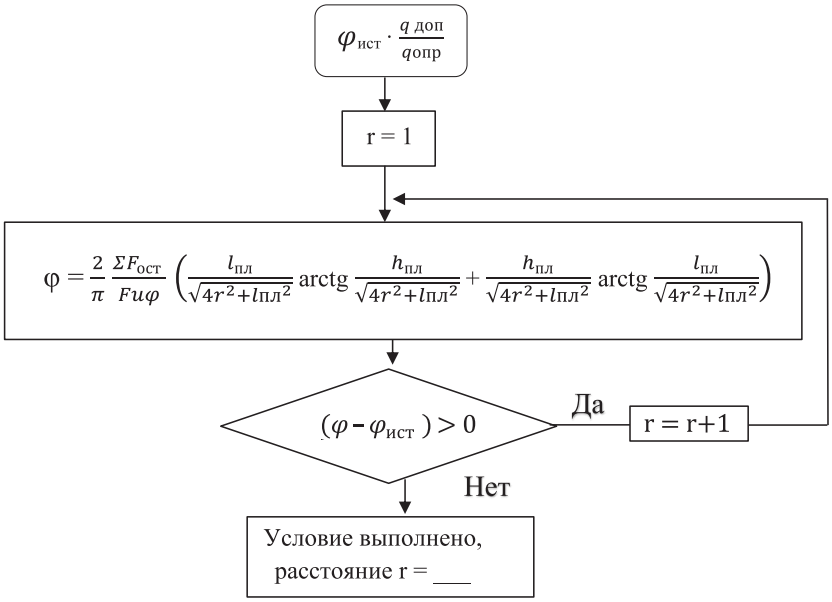


Рисунок 6. Алгоритм проведения расчетов
Figure 6. Calculation algorithm
Источник: Собственная разработка.
Source: Own elaboration.

Используя уравнение (6), определяем безопасное расстояние между ферментаторами по сценариям возникновения пожара, где $l_{пр}$ – длина (радиус) пламя, $h_{пл}$ – высота пламени, м, r – расстояние между ферментатором, м $\psi_{ф,ω}$ – коэффициент облучения.

Расчет проводим путем пересчета по последовательным значениям до момента достижения момента выполнения условия:

$$\varphi - \varphi_{ист} \le 0 \quad (8)$$

где:

φ – коэфициент облучения;

$\varphi_{ист}$ – истинный коэфициент облучения;

$$\psi_{ф,ω} = \frac{q_{доп}}{q_{опр}} \quad (9)$$

где:

$q_{доп}$ – значение допустимого теплового потока;

$q_{доп}$ – определенное значение теплового потока.

По результатам расчетов установлено, что безопасное расстояние, по сценарию возникновения пожара между ферментаторами, должно быть не менее 20 м.

Заключение

В данной работе решена актуальная научно-практическая задача по повышению взрывопожарной безопасности производства биогаза путем обоснования методики расчетной оценки безопасного расстояния между ферментаторами для производства биогаза. При этом были получены такие основные результаты:

1. Обоснована модель возникновения взрыва и развития пожара в ферментаторе с использованием методов вычислительной газогидродинамики;
2. Определено избыточное давление вероятного взрыва в газгольдере ферментатора, значение которого может достигать значений более 100 кПа;
3. С использованием полученных результатов по избыточному давлению взрыва была проведена оценка разрушений конструкции ферментатора. При этом было обнаружено, что при взрыве разрушается только внешняя упругая оболочка ферментатора без образования осколков, которые могли бы повредить внешнюю оболочку соседнего ферментатора при их разлете. Вместе с тем, при воздействии гидростатического давления жидкости и указанного избыточного давления жидкости и указанного давления взрыва ограждающая конструкция резервуара ферментатора не разрушается. Таким образом, избыточное давление взрыва в газгольдере ферментатора на значение безопасного расстояния между ферментаторами не влияет;
4. По результатам математического моделирования теплообмена при пожаре над ферментатором, было обосновано безопасное значение расстояния между ферментаторами для производства биогаза, характеристики которых соответствуют [8], которое должно составлять не менее 20 м.

Литература

[1] DBN V.1.1-7:2016 Pozhezhna bezpeka ob'yektiv budivnytstva. Zahal'ni vymohy, Derzhavne pidpryyemstvo Ukrarkhbudinform, Kyev 2017, 4.

[2] Postanova KMU (zi zminamy) Pro zatverdzhennya Tekhnichnoho rehlamentu budivel'nykh vyrobiv, budivel' i sporud, 20.12.2006, No. 1764.

[3] DSTU B V.1.1-36:2016 Vyznachennya katehoriy prymishchen', budynkiv ta zovnishnikh ustanovok za vybukhopozhezhnoyu ta pozhezhnoyu nebezpekoyu, Nakaz Minrehion Ukrayiny, 2016 , No. 158, 34.

[4] SP 52-101-2003 Betonnыe y zhelezobetonnыe konstruktsyy bez predvarytel'noho napryazhenyya armaturы, Prykaz Hosstroya Rossyy ot 25.12.2003, No. 215, 59.

[5] Myshlanova M.Yu. ,*Yntehral'nыy эffekt vnedrenyya al'ternatyvnoho эnerhonosytelya – byohaza*, w: *Sbornyk nauchnыkh trudov Vserosyyskoho nauchno-tekhnycheskoy konferentsyy*, 2004.

[6] Serensen S.V, *Spravochnyk mashynostroytelya*, t. 3, Moskva 1963.

[7] Baratov A.N., Korol'chenko A.Ya., Kravchuk N.N. et. al., *Pozharovzrыvoopasnost' veshchestv y materyalov y sredstva ykh tushenyya*, Spravochnoe yzdanye: v 2-kh knyhakh., Khymyya, Moskva 1990, 496.

[8] Proektnaya dokumentatsyya kompleksa po proyzvodstvu byolohycheskoho haza (metana) yz otkhodov sel'skoho khozyaystva ZORG, Kyev 2012, 47.

С.В. ПОЗДЕЕВ, Д-Р. ТЕХ. НАУК, ПРОФ – Главный научный сотрудник Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины. 2002 год – кандидат технических наук, 2012 год – доктор технических наук по специальности пожарная безопасность.

В.В. НИЖНИК, КАНД. ТЕХН. НАУК, СТ. НАУЧ. СОТР. – начальник Центра технического регулирования Научно-исследовательского института гражданской защиты (г. Киев). Ведущий специалист в Украине по нормативно-правовому обеспечению объектов строительства в области пожарной безопасности.

Я.В. БАЛЛО КАНД. ТЕХН. НАУК – старший научный сотрудник Отдела Нормативно-Правового Обеспечения Научно-исследовательского института гражданской защиты (г. Киев). Специалист в области противопожарного водоснабжения, а также нормативно-правового обеспечения объектов строительства в области пожарной безопасности.

А.М. НУЯНЗИН, КАНД. ТЕХН. НАУК – старший научный сотрудник Черкасского института пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины. Занимается научными исследованиями процессов развития и прекращения горения.

Р.В. УХАНСКИЙ, КАНД. ТЕХН. НАУК – начальник Нормативно Правового Отдела Научно-Исследовательского Института Гражданской Защиты (г. Киев). Ведущий специалист в Украине по нормативно-правовому обеспечению объектов строительства в области пожарной безопасности.

В.С. КРОПИВНИЦКИЙ, КАНД. ТЕХН. НАУК. – начальник Научно-Исследовательского Института Гражданской Защиты (г. Киев). Ведущий специалист в Украине в области гражданской защиты населения, а также обеспечения пожарной безопасности объектов строительства разного функционального назначения.

dr hab. inż. Krzysztof Śmiechowski, prof. nadzw. UTH[a)]*, inż. Marlena Stachowicz[a)]

[a)]*Wydział Materiałoznawstwa, Technologii i Wzornictwa, Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. Kazimierza Pułaskiego w Radomiu / Faculty of Materials Science, Technology and Design, Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom*
**Autor korespondencyjny / Corresponding author: smiechowski@pro.onet.pl*

Wpływ dodatku melaminy i krzemionki w dogarbowaniu skór na palność i wybrane właściwości skór naturalnych

The Influence of the Addition of Melamine and Silica in the Retanning of Leather on the Flammability and other Selected Properties of Leather

Влияние добавления меламина и диоксида кремния на воспламеняемость и другие выбранные свойства кожи при додубливании кожи

ABSTRAKT

Cel: Określenie wpływu dodatku melaminy i krzemionki w procesie dogarbowania na wybrane właściwości skór ze szczególnym uwzględnieniem palności. Artykuł przedstawia wyniki prac związanych z obróbką skór na etapie dogarbowania. W dogarbowaniu zastosowano różne ilości krzemionki i melaminy w celu uzyskania wyższej odporności skór na palność.
Metody: W pracy wykonano badania eksperymentalne, które obejmowały dogarbowanie skór naturalnych oraz badania wybranych właściwości skór otrzymanych w wyniku tego procesu. Dogarbowanie wykonano w skali laboratoryjnej. Badania skór obejmowały parametry związane z komfortem użytkowania wyrobów skórzanych takich jak miękkość i przepuszczalność pary wodnej. W zakresie palności badania przeprowadzono za pomocą specjalnie opracowanych metod. Wykonano także badania odporności skór na palenie w warunkach ograniczonego dostępu tlenu. Ponadto określono odporność hydrotermiczną otrzymanych skór.
Wyniki: Skład kompozycji dogarbowującej i rezultaty badań właściwości skóry posłużyły za bazę do optymalizacji oraz określenia wpływu dodatków melaminy i krzemionki na badane właściwości skóry. Rezultaty badań właściwości dogarbowanych skór wskazują na istnienie zależności między ilością dodatków w dogarbowaniu a palnością skóry.
Wnioski: Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:
1. Wzrost ilości użytej melaminy i krzemionki w składzie kompozycji powoduje wzrost odporności próbek skóry na przepalenie, przy czym dominujący jest wpływ melaminy.
2. Dogarbowanie zarówno z dodatkami (krzemionka i melamina), jak i bez dodatków nieznacznie tylko obniża przepuszczalność pary wodnej dla wszystkich badanych wariantów. Dogarbowanie prowadzi do wzrostu temperatury skurczu o max. 4°C.
3. Wyniki optymalizacji wskazują, że kompromisowe optimum przy założonych właściwościach skóry utrzymuje się przy dodatku melaminy i krzemionki w kompozycji dogarbowującej na poziomie 0,06–0,5% dla krzemionki i 0,35–0,65% dla melaminy w warunkach przeprowadzonych badań.

Słowa kluczowe: skóra naturalna, palność, melamina, krzemionka, dogarbowanie, optymalizacja
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 31.08.2018; Zrecenzowany: 09.11.2018; Zatwierdzony: 22.11.2018;
Identyfikatory ORCID autorów: K. Śmiechowski – 0000-0002-8207-717X; M. Stachowicz – 0000-0002-8800-7682;
Procentowy wkład merytoryczny: K. Śmiechowski – 90%; M. Stachowicz – 10%;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 68–84, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.5;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The purpose of the research was to determine the effect of the addition of melamine and silica in the retanning process on selected properties of leather with particular regard to flammability. The article presents the results of work related to the processing of leather at the retanning stage. Various amounts of silica and melamine were used in retanning in order to achieve a higher resistance of leather to flammability.
Methods: The work involved experimental tests, which included retanning of natural leather and testing of selected properties of the leathers obtained. Retanning was carried out on a laboratory scale. The leather testing included parameters related to the comfort of using leather goods such as softness

and water vapor permeability. Flammability tests of leather were carried out using specifically developed methods. The tests of flame resistance of leather under conditions of limited access of oxygen were also carried out. In addition, the hydrothermal resistance of the resulting hides was determined.
Results: The composition of a retanning mixture and the results of the leather properties tests were the basis for the optimisation and determination of the effect of melamine and silica on the examined properties of leather. The results of investigations of the properties of retanned leather show a correlation between the amount of additives in retanning and on the flammability of the leather.
Conclusions: Based on the conducted tests, it was found that:
1. The increase in the amount of melamine and silica used in the composition of the mixture increases the resistance of leather samples to burning through (with the influence of melamine being the more important of the two).
2. Retanning both with additives (silica and melamine) and without additives only slightly reduces the water vapour permeability for all tested variants. Retanning leads to an increase in the shrinkage temperature by max. 4°C.
3. The results of the optimisation show that the compromise optimum with the assumed properties of the leather is obtained with the addition of melamine and silica in the retanning mixture at 0.06–0.5% for silica and 0.35–0.65% for melamine under the test conditions.
Keywords: natural leather, flammability, melamine, silica, retanning, optimisation
Type of article: original scientific article

Received: 31.08.2018; Reviewed: 09.11.2018; Accepted: 22.11.2018;
Authors' ORCID IDs: K. Śmiechowski – 0000-0002-8207-717X; M. Stachowicz – 0000-0002-8800-7682;
Percentage contribution: K. Śmiechowski – 90%; M. Stachowicz – 10%;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 68–84, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.5;
This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: Определение влияния добавления меламина и диоксида кремния в процессе додубливания на отдельные свойства кожи с особым вниманием к свойству воспламеняемости. В статье представлены результаты работ, связанных с обработкой кожи на стадии додубливания. При додубливании, с целью получения более высокой огнеустойчивости были использованы различные количества диоксида кремния и меламина.
Методы: В работе были проведены экспериментальные испытания, которые включали додубливание натуральной кожи и тестирование выбранных свойств кожи, полученных в результате этого процесса. Додубливание проводилось в лабораторных условиях. Тестирование кожи включало параметры, связанные с удобством использования изделий из кожи, такие как мягкость и проницаемость для водяного пара. С точки зрения воспламеняемости, испытания проводились с использованием специально разработанных методов, а также проводились испытания на стойкость кожи к горению в условиях ограниченного доступа кислорода. Кроме того, была определена гидротермическая стойкость полученной кожи.
Результаты: Состав додубливающей композиции и результаты испытаний свойств кожи послужили основой для оптимизации и определения влияния добавок меламина и диоксида кремния на исследуемые свойства кожи. Результаты исследований свойств додубленной кожи свидетельствуют о наличии зависимости между количеством добавок при додубливании и воспламеняемостью кожи.
Выводы: на основании проведенных испытаний было установлено, что:
1. Увеличение количества меламина и диоксида кремния, используемых в композиции, повышает огнестойкость образцов кожи, причем влияние меламина является доминирующим.
2. Додубливание как с добавками (диоксид кремния и меламин), так и без добавок немного снижает проницаемость водяного пара для всех испытанных вариантов. Додубливание приводит к увеличению температуры усадки на макс. 4°C
3. Результаты оптимизации показывают, что компромиссное оптимальное количество добавления меламина и диоксида кремния при додубливании с целью получения предполагаемых свойств кожи составляет 0,06–0,5% для диоксида кремния и 0,35–0,65% для меламина в лабораторных условиях.
Ключевые слова: натуральная кожа, воспламеняемость, меланин, диоксид кремния, додубливание, оптимизация
Тип статьи: оригинальная научная статья

Принята: 31.08.2018; Рецензирована: 09.11.2018; Одобрена: 22.11.2018;
Идентификаторы ORCID авторов: K. Śmiechowski – 0000-0002-8207-717X; M. Stachowicz – 0000-0002-8800-7682;
Процентоне соотношение участия в подготовке статьи: K. Śmiechowski – 90%; M. Stachowicz – 10%;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 68–84, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.5;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Wprowadzenie

W ostatnim stuleciu obserwuje się bardzo duży wzrost produkcji i zastosowań materiałów na bazie polimerów syntetycznych, które zwykle charakteryzują się niską odpornością na palenie. Ponieważ w powietrzu atmosferycznym, będącym środowiskiem eksploatacji materiałów inżynierskich, znajduje się ponad 20% tlenu, problemy zwiększenia odporności tych

Introduction

The last century has seen a sharp increase in the production and use of materials based on synthetic polymers, which are usually characterised by a low flame resistance. Since oxygen makes up 20% of the atmospheric air, which is the environment in which engineering materials are used, the problems of increasing the flame resistance of these materials are extremely

materiałów na palenie mają niezwykle istotne znaczenie. Rozwój cywilizacyjny wiąże się między innymi z rosnącą liczbą wysokich budynków, które skupiają na małej powierzchni ziemi dużą liczbę ludzi (wysokie budynki mieszkalne, biura, hotele). W przypadku pożaru stanowią one olbrzymie zagrożenie dla przebywających w nich osób. To z kolei powoduje wzrost zainteresowania badaniami w zakresie palności zastosowanych materiałów.

Ze skóry naturalnej wykonuje się wiele wyrobów powszechnego użytku, takich jak obuwie, galanteria, tapicerka meblowa lub samochodowa. Badania skór naturalnych polegają na określeniu wpływu różnych operacji wyprawy i zastosowanych środków na właściwości tych materiałów, w tym odporności na palenie.

W literaturze przedmiotu można znaleźć wiele pozycji poświęconych badaniom skór. Przedmiotem jednej z nich była m.in. analiza wpływu poszczególnych operacji obróbki (np. garbowania, natłuszczania) oraz stosowanych w niej dodatków. Oceniano również wpływ zastosowanych garbników, środków natłuszczających, dogarbowujących oraz zmniejszających palność. Okazuje się, że skóra wyprawiona posiada naturalną, wysoką odporność na ogień. Jednakże rodzaj skóry, rodzaj garbnika, środka dogarbowującego i środka natłuszczającego wpływają nie tylko na palność skóry, ale także na sposób palenia [1].

W innych badaniach [2] analizowano również wpływ garbowania, w tym zastosowania różnych garbników (chromowego, na bazie aldehydu glutarowego i garbników roślinnych) na palność skór. Ponadto znaleziono zależność pomiędzy gęstością skór a palnością. Stwierdzono, że największą odporność na palenie miały skóry garbowania roślinnego, które charakteryzowały się także największą gęstością. Na kolejnej pozycji znalazły się skóry garbowania chromowego, a następnie skóry garbowane garbnikiem aldehydowym. Ranking palności jest taki sam, jak w sekwencji gęstości [2]. Przedmiotem badań był również wpływ zastosowania różnej powłoki wykończalniczej na skórę. Użyto różnych materiałów błonotwórczych na bazie poliuretanu, poliakrylanu, nitrocelulozy i białka. Stwierdzono jednoznacznie, że wprowadzenie do materiału błonotwórczego pigmentu zdecydowanie podwyższa odporność na palność, jednocześnie większa ilość powłoki wykończalniczej to mniejsza odporność na palenie [3].

Ważnym, niezbędnym procesem obróbki skór jest natłuszczanie. Obecnie stosowana najczęściej technologia natłuszczania skór bazuje na wykorzystaniu metody emulsyjnej. Zdolność tworzenia emulsji wodnej tłuszczów uzyskuje się między innymi poprzez siarczanowanie i siarczynowanie. Użycie olejów siarczanowanych daje widoczny lepszy efekt podwyższenia odporności skór na palenie w porównaniu do olejów siarczynowanych [4].

Zastosowanie do skór różnych środków opóźniających palenie było przedmiotem badań w kolejnej publikacji. Wprowadzone środki na bazie związków amonowych, związków boru, fosforu, melaminy i żywicy aminowej pozwalają otrzymać skóry o zwiększonej odporności na palenie. Zmienia się charakterystyka organoleptyczna, jednocześnie występuje redukcja wytrzymałości skóry [5].

Wzrost odporności skór na palność obserwowano przy zastosowaniu do wykończenia tych skór nanokompozytu. Nanokompozyt otrzymano na bazie modyfikowanego montmorylonitu z wodną dyspersją poliuretanu. Zastosowanie 4% nanokompozytu powoduje wzrost odporności skór na palenie oznaczany

important. The development of civilisation is connected, among other things, with the growing number of high-rise buildings, which concentrate a large number of people (tall residential buildings, offices, hotels) in a small area. In the event of a fire, they constitute a tremendous threat to the persons within. This in turn results in studies on the flammability of materials becoming increasingly interesting.

Many everyday products, such as shoes, accessories, furniture or car upholstery are made of natural leather. Studies on natural leather aim at determining the influence of various dressing techniques and agents on the properties of this material, including flame resistance.

In the literature on the subject there are many publications on leather studies. One of these studies concerned, among other things, the impact analysis of individual processing operations (e.g. tanning and fatliquoring), and the additives used. The influence of the applied tanning agents, fatliquors, retanning agents and flame retardants was also evaluated. It appears that dressed leather has natural, high flame resistance. On the other hand, the types of the tanning and retanning agents, and fatliquors influence not only the flammability of leather, but also the manner of its combustion [1].

Other studies [2] analysed the impact of tanning, including the used tanning agents (based on chromium, glutaraldehyde and vegetable substances) on the flammability of leather. Furthermore a relation between leather density and flammability has been established. It was determined that vegetable-tanned leather, which are characterised by highest density, were most flame-resistant. Less flame resistant was chrome tanned leather, and the least resistant was glutaraldehyde leather. The flame resistance ranking followed the sequence of density [2]. The use of various finishing coats was also evaluated. Various film-forming materials based on polyurethane, polyacrylate, nitrocellulose and protein were analysed. It was clearly determined that the introduction of a pigment into the film-forming material significantly increases flame resistance, while, at the same time, a greater amount of the finishing coat results in lower flame resistance [3].

Oiling is essential in leather processing. Nowadays, the most commonly used method uses emulsions. The ability to create emulsions of fats in water is facilitated by sulphating and sulphiting. The use of sulphated oils results in a markedly better effect when compared with sulphited oils in terms of improving the flame resistance of leather [4].

The application of various flame retardants to leather was the subject of research in another publication. The introduction of agents based on ammonium compounds, boron compounds, phosphorus compounds, melamine and amine resin makes it possible to obtain leather with increased flame resistance. The organoleptic characteristics change and the durability of leather decreases [5].

An increase in the flame resistance of leather was observed when a nanocomposite was applied in the finishing process. The nanocomposite was obtained on the basis of modified montmorillonite with water-borne polyurethane dispersion. The application of 4% nanocomposite results in an increase in flame resistance determined using the limiting oxygen index,

 ISSN 1895-8443

za pomocą indeksu tlenowego o 3,6 jednostki [6]. Inne badania również wykazują, że nanokompozyt opóźniający palenie i montmorylonit zmodyfikowany bromkiem cetylotrimetyloamoniowym powodują wzrost ognioodporności skóry [7]. Zastosowanie nanokompozytu na bazie żywicy aminowej między innymi z melaminą pozwoliło na otrzymanie trudnopalnego pyłu. Obecność tego pyłu podwyższa odporność na palność włókien kolagenowych o ponad 11 jednostek indeksu tlenowego [8]. Wprowadzenie do skóry trudnopalnego środka wykończającego, zawierającego fosfor i azot (Pyrovatex CP) z jednoczesną obecnością modyfikowanej melaminy wpływa pozytywnie na ognioodporność skór[9].

Poprawa odporności na palność została uzyskana także przez wprowadzenie do skóry trudnopalnej żywicy na bazie żywicy aminowej, siarczanu tetrahydroksymetylofosfoniowego (tetra-hydroxymethyl phosphonium sulfate) i modyfikowanego montmorylonitu [10].

Obróbka skór z dodatkami w postaci nanocząstek krzemionki i nanocząsteczek dwutlenku tytanu podwyższa odporność skór na testy cieplne, ogniowe, a także odporność na grzyby. Testy wykazały lepsze wskaźniki zachowania się podczas spalania i jako przewodnik ciepła [11].

W wielu przypadkach do podwyższenia ognioodporności włókien (w tym białkowych, takich jak kolagen) służą związki organofosforowe, trimetylomelamina oraz związki kompleksowe tytanu lub cyrkonu [12, 13].

Warto podkreślić, że ekspansja materiałów „skórzanych" na bazie polimerów syntetycznych niesie ze sobą poważne zagrożenia dotyczące odporności na palenie oraz toksyczność dymu. Skóry na bazie kolagenu (skóry surowej, która jest surowcem odnawialnym) w porównaniu do skór syntetycznych wykazują w wyżej wymienionym zakresie właściwości zdecydowaną przewagę [14]. Istotnym parametrem użytkowym skóry, związanym z komfortem, jest jej miękkość, a także przepuszczalność pary wodnej. W wielu badaniach wprowadzenie dodatków podwyższających odporność skór na palność następuje w procesach wykończenia kąpielowego, w tym natłuszczania i dogarbowania. Sposób natłuszczania i dogarbowania oraz parametry tych procesów i ich wpływ na miękkość były przedmiotem wielu badań [15, 16].

Zastosowanie nowoczesnych organiczno-nieorganicznych cząstek hybrydowych fosforu i krzemionki (SiO2 @ DPP) zsyntetyzowanych poprzez reakcję hydrotermalną do polepszenia ognioodporności poliwęglanu (PC) było przedmiotem badań naukowców z Chin. Pomiar wielkości indeksu tlenowego zmodyfikowanego poliwęglanu pokazał poziom wynoszący (LOI) 29,3%. Skuteczne zmniejszenie palności PC nastąpiło już przy zastosowaniu minimalnej ilości SiO2 @ DPP wynoszącej tylko 0,8% wag [17].

Okazuje się, że wprowadzenie w procesie dogarbowania montmorylonitu sodowego (Na + Mt) do skóry *wet-blue* nie tylko może podwyższyć stabilność skóry w azocie i powietrzu (ocenianą wg termograwimetrii). Analiza morfologiczna za pomocą skaningowej mikroskopii elektronowej wykazuje, że cząsteczki Na + Mt są równomiernie rozprowadzone i drobno rozproszone w strukturze skóry. Udowodniono także, że zastosowanie 1 i 3% środka Na + Mt (wagowo) wpływa pozytywnie na właściwości mechaniczne (mianowicie wytrzymałość na rozciąganie i rozdarcie) [18].

Badania literaturowe potwierdzają, że skóra naturalna (zawierająca głównie polimer naturalny – kolagen) ma znacznie

by 3.6 [6]. Other studies also show that a flame-retardant nanocomposite and cetyltrimethylammonium-bromide-modified montmorillonite improve the flame resistance of leather [7]. The application of a nanocomposite based on amine resin with, i.a., melamine, facilitated the production of flame-retarding dust. The presence of this dust increased the flame resistance of collagen fibres expressed using the limiting oxygen index by more than 11 [8]. The introduction of a flame-retarding finishing agent containing phosphorus and nitrogen (Pyrovatex CP) into leather, coupled with the presence of modified melamine, has a positive impact on the flame resistance of leather [9].

Flame resistance was also increased through the introduction of flame-retarding resin based on amine resin, tetra-hydroxymethyl phosphonium sulfate and modified montmorillonite [10].

The processing of leather with added silica or titanium dioxide nanoparticles improves leather resistance in heat and flame tests and resistance to fungi. The test demonstrated significantly better behaviour during combustion and as a heat conductor [11].

In many cases organophosphorus compounds, trimethylmelamine and complex compounds of titanium or zirconium are used to improve the flame resistance of fibres (including protein fibres such as collagen) [12, 13].

It is worth highlighting that the expansion of "leather" materials based on synthetic polymers poses serious risks in terms of flame resistance and smoke toxicity. In this context, collagen-based leather (raw leather which is a renewable resource) has much better properties than synthetic leather [14]. Softness, associated with comfort, as well as water vapour permeability are important performance parameters of leather. In many studies agents which improve the flame resistance of leather are introduced as part of bathing, including oiling and retanning. The method of oiling and retanning, as well as the parameters of these processes and their influence on softness were the subjects of many studies [15, 16].

The application of novel organic-inorganic hybrid particles of phosphorus and silica (SiO2 @ DPP) synthesised through a hydrothermal reaction to improve the fire retardance of polycarbonate (PC) was the subject of research of Chinese scientists. The measurement of oxygen index values of modified polycarbonate demonstrated a LOI of 29.3%. An effective decrease in PC flammability was obtained with a minimum quantity of SiO2 @ DPP amounting to 0.8 wt% [17].

It appears that the introduction of sodium montmorillonite (Na + Mt) to wet-blue leather can have other effects than only improving leather stability in nitrogen and air (evaluated by means of thermogravimetric analysis). The analysis of morphology using a scanning electron microscope demonstrated that Na + Mt molecules were uniformly distributed and finely scattered in the leather structure. It was proven also that the application of 1 and 3 wt% of Na + Mt has a positive impact on mechanical properties (tensile and tear strength) [18].

The analysis of the literature confirms that natural leather (containing mainly collagen – a natural polymer) has a much higher flame resistance than the commonly used

wyższą odporność na palenie niż zwykle stosowane zamienniki skóry (polimery syntetyczne). Wspomniany dodatek powinien więc być przedmiotem badań mających na celu uzyskanie jeszcze wyższej odporności na palenie przy zachowaniu innych istotnych parametrów użytkowych. Należy przypuszczać, iż zastosowanie w kompozycji dogarbowującej mieszanki krzemionki i melaminy pozwoli osiągnąć taki skutek. W literaturze brak jest badań sprawdzających synergiczny efekt zastosowań obydwu dodatków do zagarbowania skóry. W pracy zastosowano specjalne metody oznaczania palności, które zdecydowanie bardziej odzwierciedlają rzeczywiste warunki związane z procesem palenia konkretnych wyrobów skórzanych (obuwia lub odzieży) podczas ich eksploatacji.

Celem niniejszego artykułu było określenie wpływu wybranych operacji wykończania kąpielowego na określone właściwości skór kolagenowych. Szczególnym przedmiotem zainteresowania było dogarbowanie i właściwości skór w zakresie palności. Zastosowano program do optymalizacji pozwalający na wybór kompromisowego optimum parametrów skóry na podstawie wyników badań specjalnie zaplanowanych doświadczeń technologicznych.

W pracy wykonano badania eksperymentalne, które obejmowały:

- dobór kompozycji dogarbowującej na bazie żywicy akrylowej z dodatkiem krzemionki i melaminy (na podstawie badań stabilności polidyspersji wodnych kompozycji natłuszczających)
- dogarbowanie skór
- badanie palności otrzymanych skór.

Na podstawie składu kompozycji dogarbowującej oraz wyników badań właściwości otrzymanych skór przeprowadzono optymalizację udziału dodatków w kompozycji dogarbowującej skóry.

skin substitutes (synthetic polymers). The additive in question should therefore be tested in order to obtain even higher flame resistance while maintaining other relevant performance parameters. One may assume that the use of a mix of silica and melamine in the retanning mixture will make it possible to achieve such an effect. The available literature lacks studies evaluating the synergistic effect of both these tanning agents. This work consisted of special methods of determining flammability, which much more reliably reflect the real conditions of combustion of specific leather products (footwear or clothes) during their use.

The goal of the work was to determine the impact of the selected bath finishing operations on the specific properties of collagen leather. Retanning and leather properties in terms of flammability constituted the special object of focus. An optimisation program was used which allowed the selection of a compromise optimum of leather parameters based on the results of the analyses of specially planned engineering tests.

The work involved experiments including:

- the selection of an acrylic-resin-based retanning mixture with added silica and melamine (on the basis of studies of the stability of molecular-weight distribution of water-based fatliquor mixtures).
- leather retanning
- flammability testing of the obtained leather.

On the basis of the composition of the retanning mixture and the results of the property analysis of the obtained skins, the proportion of additives in the retanning mixture was optimised.

Część doświadczalna

Surowce i chemikalia

W pracy użyto półfabrykatu skórzanego w postaci połówek skór bydlęcych w stanie *wet-blue*. Ponadto w obróbce zagarbowanego kolagenu zastosowano: żywicę akrylową Rokryl GA16, metylocelulozę, melaminę, krzemionkę koloidalną HDK N20 (IMCD), emulgator (SILASTOL E7-prod.Schill&Seilacher).

W tabeli 1 przedstawiono właściwości żywicy akrylowej Rokryl GA16.

The experimental part

Raw materials and chemicals

A leather semi-finished product, i.e. wet-blue half hides, was used for the purposes of this work. The following were used in the processing of tanned collagen: Rokryl GA16 acrylic resin, methyl cellulose, melamine, colloidal silica HDK N20 (IMCD), and an emulsifier (SILASTOL E7 by Schill&Seilacher).

Table 1 presents the properties of Rokryl GA16 acrylic resin.

Tabela 1. Właściwości żywicy Rokryl GA16 [19]
Table 1. Presents the properties of Rokryl GA16 acrylic resin

Właściwość fizykochemiczna/Physico-chemical property	Wartość/Value
Wygląd/Appearance	lepka, klarowna ciecz o barwie od jasnożółtej do jasnobrązowej/ viscous, clear liquid, light yellow to pale brown
Ładunek/Charge	anionowy/anionic
Substancja aktywna, % [m / m]/Active substance, % [m/m]	38–42
pH produktu handlowego/pH	6,0–7,5
Rozpuszczalność w wodzie/Water solubility	całkowita/total
Gęstość w temp. 20°C, g/Density at 20°C, g	1,13–1,16
Lepkość w temp. 20°C, mPa·s/Viscosity at 20°C, mPa·s	max. 3500

ISSN 1895-8443

W tabeli 2 przedstawiono właściwości melaminy.

Table 2 presents the properties of melamine.

Tabela 2. Charakterystyka melaminy [20]
Table 2. Characteristics of melamine [20]

Właściwość/ Physico-chemical property	Wartość/Value
Zawartość melaminy, [%]/The content of melamine, [%],	99,8
Zawartość popiołu, [%]/The content of ash [%]	0,02
Zawartość wilgoci, [%]/Moisture content, [%]	0,1
Reaktywność [min]/Reactivity [min]	40
Barwa żywicy melaminowo-formaldehydowej, [°Pt-Co]/Color of melamine-formaldehyde resin, [°Pt-Co]	20
Zawartość żelaza, [ppm]/ The content of Iron, [ppm]	1

W tabeli 3 przedstawiono właściwości krzemionki koloidalnej HDK N20 (IMCD).

Table 3 presents the properties of colloidal silica HDK N20 (IMCD).

Tabela 3. Charakterystyka krzemionki koloidalnej HDK N20 (IMCD) [21]
Table 3. Characteristics of colloidal silica HDK N20 (IMCD) [21]

Właściwość/ Property	Wartość/Value
Powierzchnia właściwa/ BET surface	175–225 m2/g
Straty przy suszeniu/ Loss on drying	< 1,5 %
Pozostałość na sicie/ Sieve residue	< 0,03 %
Gęstość/ Tamped density	40 g/l
pH (w 4% dyspersji wodnej)/ pH (in 4% aqueous dispersion)	3,8-4,3

W tabeli 4 przedstawiono właściwości metylocelulozy.

Table 4 presents the properties of methyl cellulose.

Tabela 4. Charakterystyka metylocelulozy [23]
Table 4. Characteristics of methyl cellulose [23]

Właściwość fizykochemiczna/ Physico-chemical property	Wartość/Value
Wygląd/ Appearance	proszek o barwie od białej do żółtawej/ white to yellowish colour powder
pH (10 g/l) w 20°C/ pH (10 g/l) in 20°C	6–8
Temperatura palenia się/ Burning temperature	> 360 °C
Temperatura rozkładu/ Decomposition temperature>	> 200 °C
Dolna granica niebezpieczeństwa wybuchu/ Lower limit of danger of explosion	30 g/
Gęstość w 20°C/ Density at 20°C	ca. 1,3 g/
Rozpuszczalność w / mieszalność z wodą w 20°C/ Solubility in / miscibility with water at 20°C	> 10 g/l

Metody badań

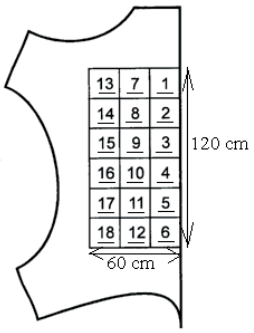
Metoda asymetryczna dobierania próbek skór do badań

Kompozycje na bazie żywicy akrylowej wprowadzono do skór *wet-blue* (zagarbowanych chromowo) z wykorzystaniem metody asymetrycznego doboru próbek. Metoda ta stosowana jest ze względu na topografię skóry. W ten sposób zdecydowanie zminimalizowano wpływ topografii na wyniki badań właściwości skór. Postępuje się tak w przypadku badań laboratoryjnych przeprowadzanych na próbkach skór. Badania wykonano dla trzech próbek skór; np. w wariancie 1 użyto próbek wyciętych z części topograficznych skóry 1, 12 i 17. Na ryc. 1 przedstawiono schemat pobierania próbek skór do badań z połówki skóry bydlęcej.

Research methods

The asymmetric method of sample selection for research

Acrylic-resin-based mixtures were introduced into wet-blue leather (chrome-tanned) using the asymmetric method of sample selection. This method is used due to leather topography. In this way, the impact of topography on the results of leather properties was markedly minimised. This is done in the case of laboratory tests on leather samples. The testing involved three leather samples; for example variant 1 used samples cut out from hide parts Nos. 1, 12 and 17. Figure 1 presents the sampling scheme for surface samples of bovine half leather.



Wariant dogarbowania Variation of retanning	Numer próbek Number of samples
1	1, 12, 17
2	2, 11, 18
3	3, 7, 16
4	4, 8, 15
5	5, 9, 13
6	6, 10, 14

Rycina 1. Metoda pobierania próbek skór do badań
Figure 1. Method of leather sampling for testing
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Dogarbowanie skór wet-blue

W sześciu szklanych cylindrycznych naczyniach (urządzenie typu Wacker) umieszczono odważone próbki skóry w kąpielach wodnych zawierających 10% różnych kompozycji. Zastosowano 100% wody w stosunku do masy skóry. Naczynia z zawartością obracano (czas – 4 h, temperatura ok. 50°C). Na 30 minut przed zakończeniem procesu do kąpieli dogarbowującej dodano roztwór kwasu mrówkowego (1% czystego kwasu mrówkowego na masę skóry, stężenie kwasu 10%). Następnie skóry zmiękczono mechanicznie (poprzez rozciąganie) i wysuszono w odpowiednich warunkach do osiągnięcia wilgotności na poziomie 10–15%. Stopień wprowadzenia dodatku melaminy i krzemionki do skóry oceniono w sposób pośredni poprzez oznaczenie suchej masy kąpieli przed i po dogarbowaniu (zostało ocenione na poziomie około 90% – dla wszystkich wariantów). Potwierdziła to także ocena organoleptyczna kąpieli wyczerpanych (po procesie).

Oznaczenie temperatury skurczu

Oznaczenie temperatury skurczu przeprowadzono wg PN-EN ISO 3380:2015-11 [24]. Wykonano 3 oznaczenia dla każdej próbki skóry, tzn. 9 prób dla każdego wariantu.

Pomiar miękkości

Pomiar miękkości wykonano wg PN-EN ISO 17235:2002 [25]. Przeprowadzono po 5 oznaczeń dla każdej próbki skóry, tzn. 15 prób dla każdego wariantu.

Pomiar absorpcji (wchłaniania) kropli wody

Przy pomocy pipety nanoszono kroplę wody destylowanej na badaną próbkę skóry i mierzono czas, po którym zostanie wchłonięta w skórę. Wykonano po 5 oznaczeń dla każdej próbki skóry, tzn. 15 prób dla każdego wariantu.

Oznaczenie odporności na wysoką temperaturę na urządzeniu firmy SATRA (typ ASS)

Z próbek skóry wycięto kwadraty o wymiarach 2 cm × 2 cm. Następnie próbki zważono i umieszczono stroną licową do dołu między pierścieniami urządzenia SATRA rozgrzanymi do temperatury ok. 300°C na metalowej łopatce. Po 5 minutach próbki były ważone i określono ubytek masy. Odporność na wysoką temperaturę w tym badaniu wykonano w warunkach „beztlenowych". Próbka badana znajdowała się w zamkniętej przestrzeni między pierścieniami urządzenia. Wykonano 3 oznaczenia dla każdej próbki skóry.

Wet-blue leather retanning

Weighed skin samples were placed in water baths containing 10% of various mixtures in six cylindrical glass vessels (Wacker-type device). The volume of water used was 100% of the leather mass. The vessels with contents were rotated (time – 4 h, temperature – approx. 50°C). 30 minutes before the end of this retanning bath, a formic acid solution was added (1% of pure formic acid per leather mass, acid concentration of 10%). Next, the leather was softened mechanically (through stretching) and dried under conditions appropriate to reach a humidity of 10–15%. The degree of melamine and silica introduction into the leather was evaluated directly by determining the dry mass of bath before and after retanning (a result of approx. 90% was indicated – for all the variants). This was also confirmed by the organoleptic evaluation of the used-up (post-process) baths.

Determining shrinkage temperature

Shrinkage temperature was determined in accordance with PN-EN ISO 3380:2015-11 [24]. 3 determinations for each sample were made, giving 9 in total for each variant.

Softness determination

Softness was determined in accordance with PN-EN ISO 17235:2002 [25]. 5 determinations for each sample were made, giving 159 in total for each variant.

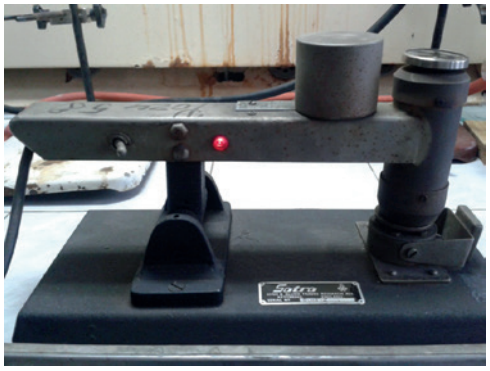
Water drop absoption test

a drop of distilled water was applied onto a leather sample using a pipette, and the time after which it was absorbed into the leather was measured. 5 determinations for each sample were made, giving 15 in total for each variant.

Determining resistance to high temperature using a SATRA device (ASS type)

2 cm x 2 cm squares were cut out from leather samples. Next, the samples were weighed, on a metal spatula, grain-side down between the rings of the SATRA device heated up to approx. 300°C. After 5 minutes the samples were weighed and the decrease in mass was determined. Resistance to high temperature was tested in "anearobic" conditions. The tested sample was located in the closed space between the rings of the device. 3 determinations for each sample were made.

ISSN 1895-8443



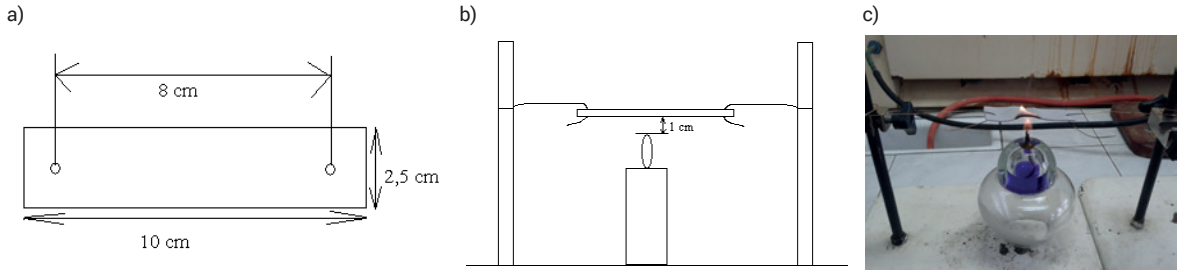
Rycina 2. SATRA – przyrząd do badania odporności na wysoką temperaturę
Figure 2. SATRA – a device for testing resistance to high temperatures
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Pomiar odporności na palność – prostokątnej próbki

Ze skóry wycięto prostokąty o wymiarach 2,5 cm × 10 cm i po ich dwóch stronach nacięto otwory wg ryc. 3a, które służą do zamocowania próbki drutem metalowym. Odpowiednie wyprofilowanie konstrukcji drutu stalowego mocującego próbki skóry pozwalało na obiektywną ocenę stopnia przepalenia skóry, ponieważ próbka była rozciągana i czas palenia próbki był liczony do momentu jej rozerwania. Na odpowiedniej wysokości zamocowano próbkę (licem do góry – ponieważ próbki skór były w stanie *crust*, wytrzymałość na palenie powinna być mniejsza od strony mizdry) równolegle do podłoża. Pod próbką umieszczono palący się palnik spirytusowy (ryc. 3b i 3c). Następnie mierzono czas, po którym próbka ulegnie przepaleniu (zerwaniu). Zastosowana metoda w znacznie większym stopniu uwzględnia rzeczywiste warunki występujące podczas palenia się obuwia czy odzieży ochronnej skórzanej na człowieku. Żaden ze znanych i powszechnie stosowanych sposobów oznaczania palności nie jest tak zbieżny z warunkami rzeczywistymi. Wykonano 3 oznaczenia dla każdej próbki skóry.

Flame resistance measurement – rectangular sample

2.5 cm x 10 cm rectangles were cut out from leather, and incisions were made on two sides, as demonstrated in Fig. 3a, to secure the sample with a metal wire. The proper profiling of the structure of the steel wire holding the leather samples made it possible to objectively assess the degree of burn. This is because the sample was stretched and the burning time of the sample was measured until it tore apart. The sample was located at the correct height (grain-side up – since the samples were samples of crust leather, flame resistance should be lower on the flesh side), parallel to the ground. A flaming alcohol burner was positioned under the sample (Fig. 3b and 3c). Time until burning through (tearing apart) was measured. The applied method to a greater degree takes into account the real conditions observed when leather protective footwear or clothing is worn and is burning. None of the known and commonly used flammability testing methods is so aligned with the real conditions. 3 determinations for each sample were made.



Rycina 3. Stanowisko do badań palności próbki skóry (prostokąt)
Figure 3. The stand for testing the flammability of sample leather (a rectangular)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Pomiar odporności na palność – okrągłej próbki

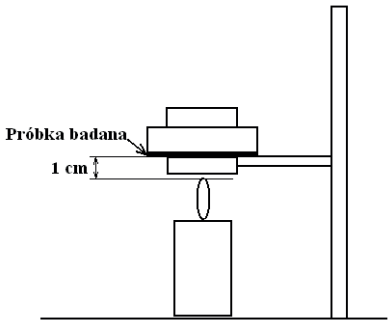
W specjalnej metalowej kształtce umieszczono próbkę skóry o średnicy ok. 60 mm i szczelnie zakręcono (licem do góry). Następnie zamocowano ją w łapie stojaka nad palnikiem tak, aby wierzchołek płomienia znajdował się na środku pod kształtką. Mierzono czas do momentu przepalenia otworu w próbce. W tym przypadku skóra była zamocowana i przepalenie następowało

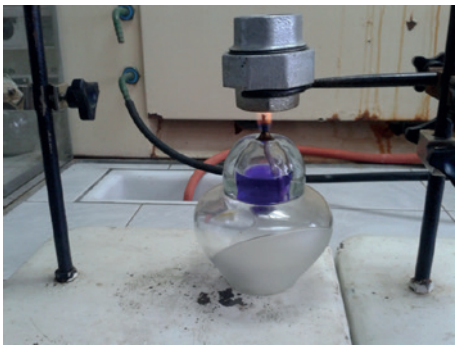
Flame resistance measurement – circular sample

A sample of leather with a diameter of approx. 60 mm was placed in a special metal profile and closed tightly (grain-side up). Next, it was placed on a rack arm above the burner, and made sure that the tip of the flame was centred below the profile. The time until a hole was burned through in the sample was measured. In this case, the leather was secured, and no external

bez udziału sił zewnętrznych. Jednocześnie skóra była dodatkowo ogrzewana przez metalowy element mocujący. Wykonano 3 oznaczenia dla każdej próbki skóry.

forces contributed to the burning. At the same time, the leather was heated up by the metal fastener. 3 determinations for each sample were made.





[Próbka badana – tested sample]

Rycina 4. Stanowisko do badania palności skóry (koło)
Figure 4. The stand for testing the flammability of leather (circle)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Pomiar przepuszczalności pary wodnej

Zgodnie z patentem nr 210759 [26] wykonano 3 oznaczenia dla każdej próbki skóry, tzn. 9 prób dla każdego wariantu.

Water vapour permeability testing

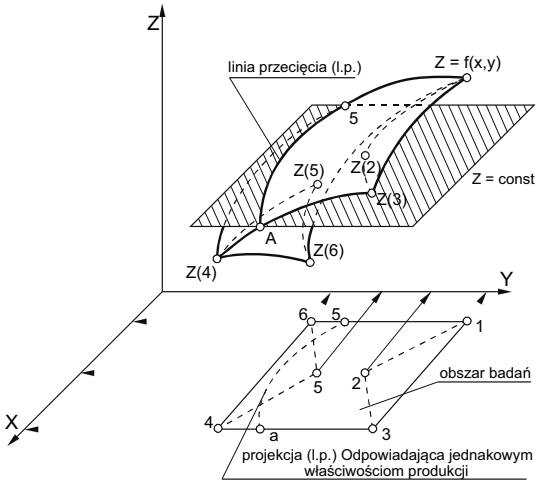
In accordance with patent 210759 [26] 3 determinations for each sample were made, giving 9 in total for each variant.

Metoda Kleemana

Metodę Kleemana wykorzystano przy wyborze optymalnych parametrów otrzymywania skóry o właściwościach niepalnych [27, 28]. Powala ona uzyskać graficznie kompromisowe optimum właściwości przy minimalnej ilości eksperymentów (6). Obszarem badania tej metody jest prostokąt zawierający punkty na powierzchni kulistej, które obrazuje wykres funkcji Z = (x;y) w przestrzeni trójwymiarowej. Przedstawia on zależność między właściwościami i zmiennymi czynnikami.

Kleeman's method

Kleeman's method was applied when selecting the optimal parameters for leather with non-combustible properties [27, 28]. This method makes it possible to obtain a compromise optimum of properties with the least number of experiments needed (6). The test area is a rectangle containing points on a spherical surface, which is illustrated by a graph of the function Z = (x;y) in a three-dimensional space. It presents the correlation between properties and variable factors.



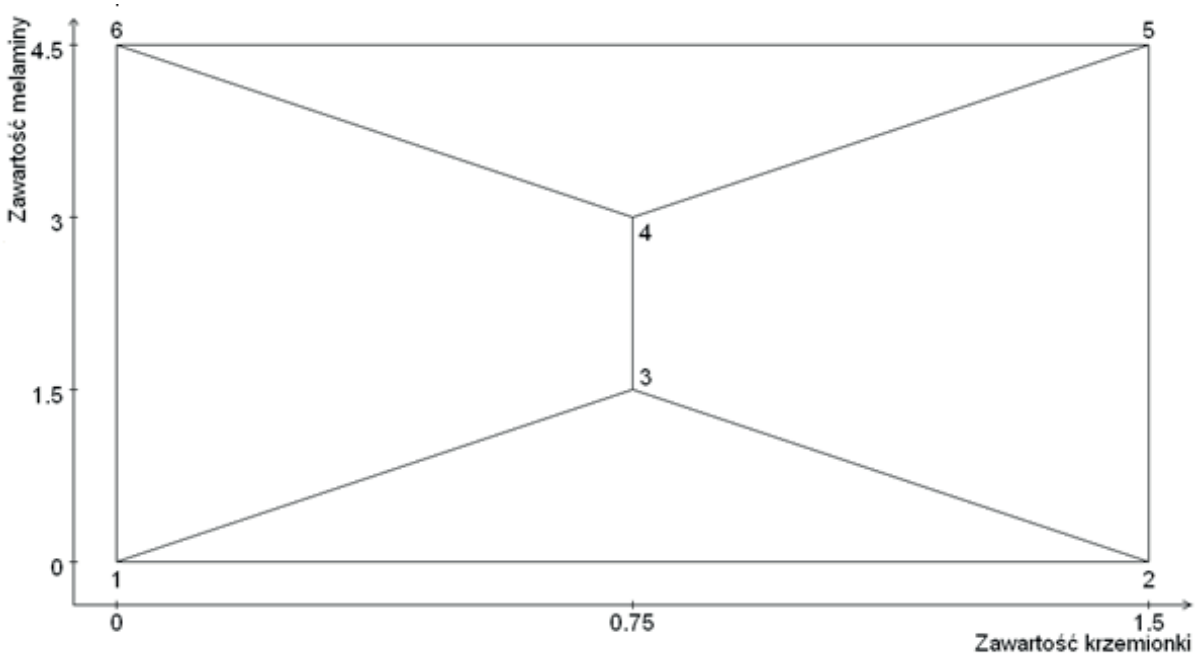
[linia przecięcia (l.p.) – line of intersection (l.i.)
Obszar badań – Test area
Projekcja (l.p.)... – projection (l.i.) reflecting identical production properties]

Rycina 5. Schemat planowania eksperymentu (według Kleemana)
Figure 5. A schematic showing experiment planning (according to Kleeman)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

ISSN 1895-8443

Metoda ta powala uzyskać kompromisowe optimum parametrów procesu przy założonych właściwościach produktu końcowego, realizując minimalną liczbę eksperymentów technologicznych.

This method facilitates a compromise optimum of process parameters taking into account the assumed properties of the finished product, with the minimum number of engineering experiments being performed.



[Zawartość melaminy – Melamine content
Zawartość krzemionki – Silica content]

Rycina 6. Dobór parametrów eksperymentów dogarbowania z dodatkiem melaminy i krzemionki (wg metody Kleemana)
Figure 6. Selection of retanning experiment parameters with added melamine and silica (according to the Kleeman's method)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Rezultaty badań. Dobór składu emulsji na bazie żywicy akrylowej

W celu realizacji tematu badań do emulsji żywicy akrylowej wprowadzono dodatki mogące podwyższyć palność skóry. Skład kompozycji dogarbowujących został opracowany na podstawie wstępnych badań stabilności ich 10% dyspersji wodnych. Stabilność wodnych dyspersji kompozycji dogarbowujących jest jednym z najważniejszych parametrów gwarantujących wnikanie składników kompozycji w strukturę skóry. W poszczególnych wariantach od 1 do 6 użyto próbek skór według ryc. 1. Do optymalizacji użyto metody Kleemana, polegającej na zmianie dwóch parametrów wyjściowych (zawartość krzemionki i zawartość melaminy) według proporcji podanych na ryc. 6. Na podstawie sześciu eksperymentów otrzymujemy zależności użytych ilości krzemionki i melaminy na poszczególne badane właściwościach skór.

Test results. Selection of the composition of the acrylic-resin-based emulsion

In order to pursue the subject of the research, additives were introduced to acrylic resin to improve the flame resistance of leather. The compositions of retanning mixtures were developed on the basis of preliminary stability tests of their 10% water dispersions. The stability of the water dispersions of retanning mixtures is one of the most important parameters which guarantee the penetration of compound constituents into the leather structure. In variants 1 to 6 the leather samples were used in accordance with Figure 1. Kleeman's method was used for optimisation. It consisted of changing the initial parameters (silica content and melamine content) according to the proportions specified in Figure 6. Based on the six experiments it was possible to determine the correlations between the amount of silica and melamine and the tested individual properties of leather.

Tabela 5. Skład kompozycji – plan sześciu eksperymentów wg Kleemana

Table 5. The composition of the mixture – the plan for six experiments (according to Kleeman's method)

Wariant/ Variant	Składniki kompozycji/Ingredients of the mixture										Σ [g]
	Rokryl GA16		Melamina/ Melamine		Krzemionka HDK N20/ Silica HDK N20		Metyloceluloza/ Methylcellulose		Emulgator/ Emulsifier		
	[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]	[g]	[%]	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	297,00	98,0	0	0	0	0	3,0	1	3,0	1	303
2	295,50	97,5	0	0	1,50	0,5					
3	294,75	97,3	1,5	0,5	0,75	0,2					
4	293,25	96,8	3,0	1	0,75	0,2					
5	291,00	96,0	4,5	1,5	1,50	0,5					
6	292,50	96,5	4,5	1,5	0	0					

Źródło: Opracownaie własne.

Source: Own elaboration.

W przypadku wariantu 0 próbka była próbką odniesienia.

In the case of variant 0 the sample was the reference sample.

Zestawienie wyników

W tabeli 6 przedstawiono zestawienie średnich wyników badań właściwości skór. Próbki skór odpowiadają wariantom podanym w tabeli 6 zgodnie z danymi z ryc. 1.

Breakdown of results

Table 6 presents a breakdown of mean results of studies testing leather properties. The leather samples correspond to the variants indicated in Table 6 in line with the data presented in Figure 1.

Tabela 6. Zestawienie wyników badań właściwości skór

Table 6. A breakdown of results concerning the properties of leather

Wariant/Variant	Wyniki badań próbek skór/ Properties of leather							
	Temp. Skurczu [°C]/ Shrinkage temp. [°C] [°C]	Grubość [mm]/Thickness [mm]	Miękkość/ Softness Ø20 [mm]	Absorpcja kropli wody [s]/ Absorption of water drops [s]	Odporność termiczna [%]/ Thermal resistance [%]	Palność prostokątna próbka [s]/ Flammability rectangular sample [s]	Palność okrągła próbka [s]/ Flammability round sample [s]	Przepuszczalność pary wodnej [%]/ Water vapour permeability [%]
0	108	1,6	2,3	62	37	68	71	86
1	111	1,9	2,4	115	41	76	127	73
2	111	2,0	2,3	53	40	74	122	75
3	111	2,0	2,2	70	40	85	143	75
4	112	2,0	2,6	36	38	68	150	75
5	110	2,0	2,0	30	39	70	153	76
6	112	2,0	2,3	26	38	73	137	77

Źródło: Opracownaie własne.

Source: Own elaboration.

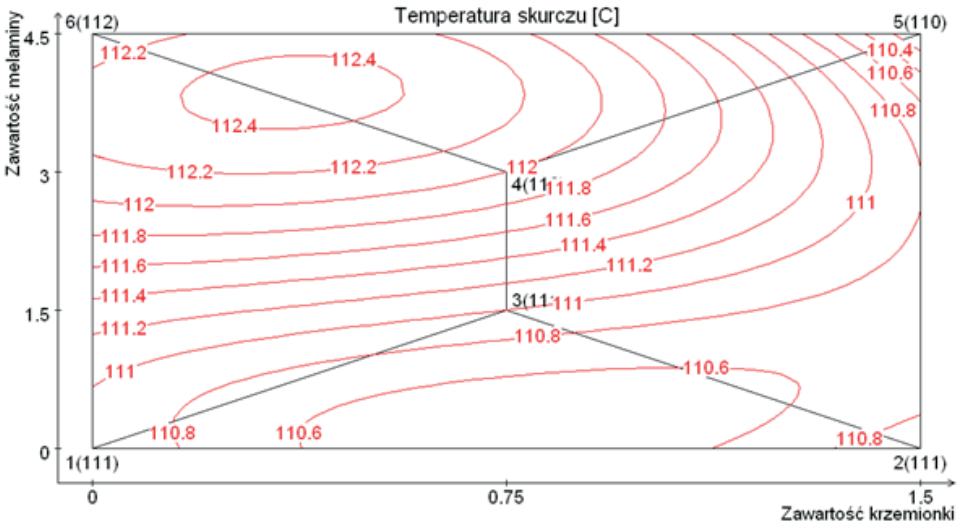
Optymalizacja wyników badań

Na rycinach 7–13 podane zawartości użytych krzemionki i melaminy odnoszą się do ilości [g] podanych w tabeli 6.

Study results optimisation

In Figures 7–13 the indicated content of silica and melamine relate to the amounts [g] specified in Table 6.

ISSN 1895-8443



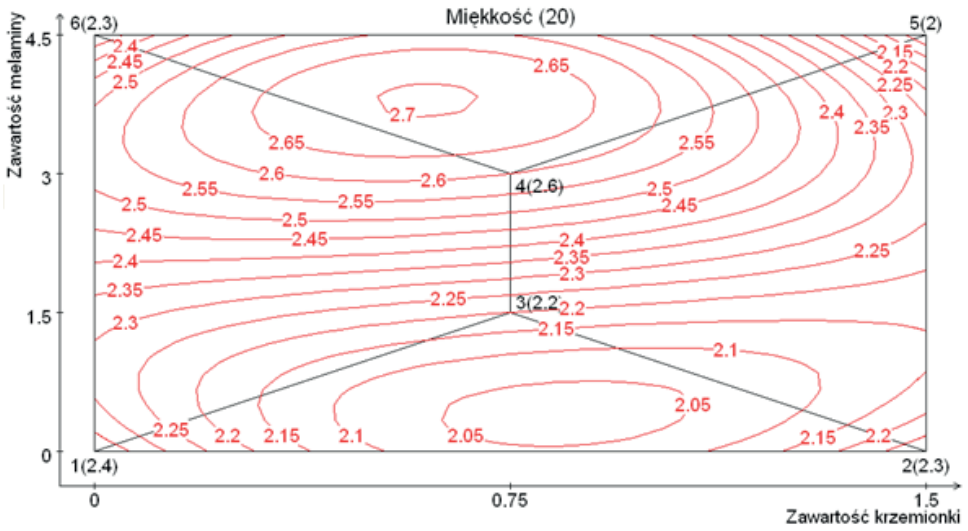
[Temperatura skurczu – Shrinkage temperature]

Rycina 7. Wpływ składu kompozycji dogarbowującej na temperaturę skurczu skóry

Figure 7. The effect of the composition retanning for temperature shrinkage of the leather

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.



[Miękkość – Softness]

Rycina 8. Wpływ składu kompozycji dogarbowującej na miękkość skóry (Ø20 mm)

Figure 8. Effect of the composition of the retanning mixture on leather softness (Ø20 mm)

Źródło: Opracowanie własne.

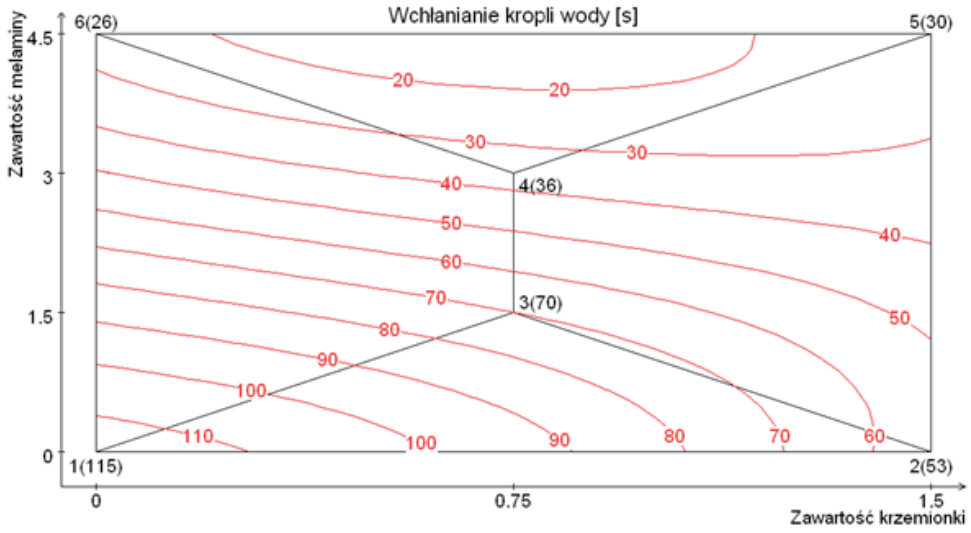
Source: Own elaboration.

Większa ilość dodawanej melaminy powoduje niewielki wzrost temperatury skurczu. Krzemionka praktycznie nie wpływa na odporność hydrotermiczną.

Zdecydowany wzrost ilości zastosowanej melaminy daje większą miękkość skóry do granicy 2,7. Ilość krzemionki w kąpieli dogarbowującej praktycznie nie wpływa na miękkość skór.

A greater amount of melamine added results in a small increase in shrinkage temperature. Silica has virtually no effect on hydrothermal resistance.

A significant increase in the amount of melamine applied translates into greater leather softness up to 2.7. The amount of silica in the retanning bath has virtually no effect on leather softness.

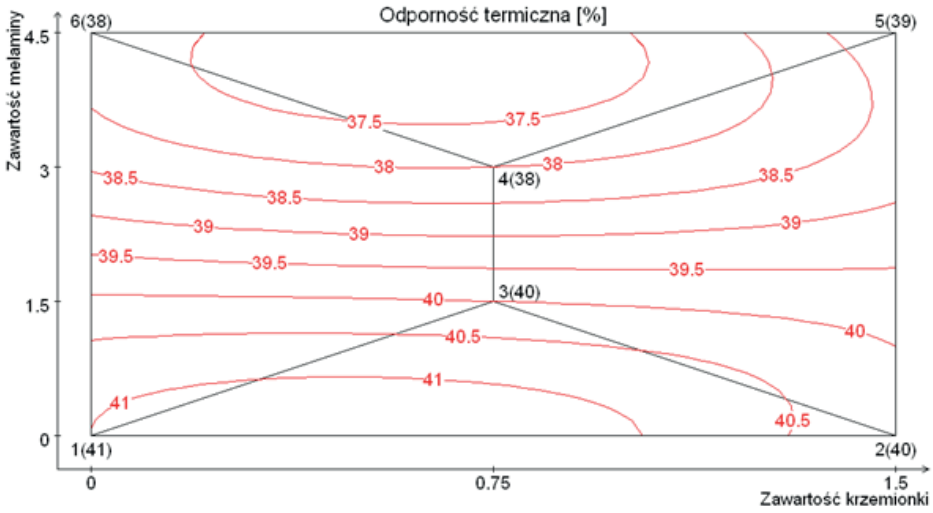


[Wchłanianie kropli wody – Absorption of a drop of water]

Rycina 9. Wpływ składu kompozycji dogarbowującej na wchłanianie kropli wody przez skórę
Figure 9. Effect of the composition of the retanning mixture on the absorption of a drop of water into leather
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Ze wzrostem ilości zastosowanej melaminy i krzemionki skraca się czas wchłaniania wody przez skórę, przy czym oddziaływanie krzemionki jest tutaj silniejsze.

The greater the amount of melamine and silica, the shorter the water absorption time. It should be also noted that silica has a stronger effect in this regard.

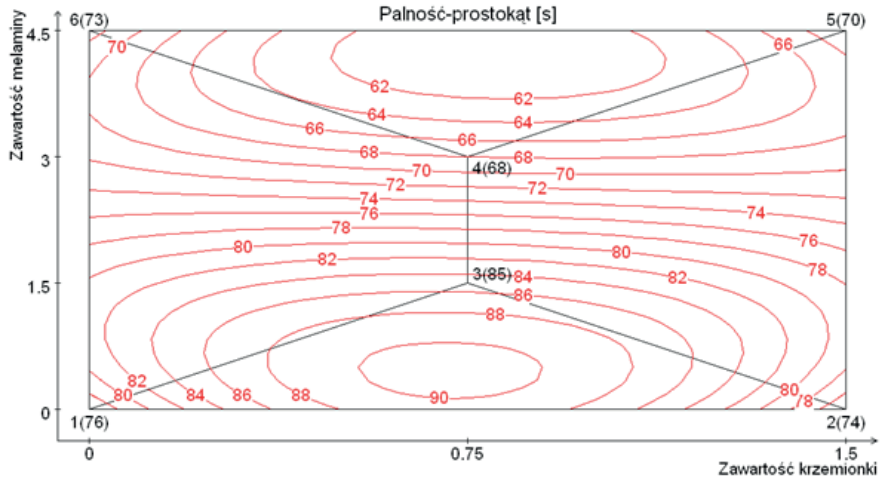


[Odporność termiczna – Temperature resistance]

Rycina 10. Wpływ składu kompozycji dogarbowującej na odporność na wysoką temperaturę skóry (urządzenie Satra)
Figure 10. Effect of the composition of the retanning mixture on high temperature resistance of leather (device Satra)
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

W danym badaniu wraz ze wzrostem ilości zastosowanej melaminy maleje ubytek masy. To badanie ma specyficzny charakter, ponieważ próbka skóry jest odizolowana od powietrza. Beztlenowy rozkład jest związany z obecnością w skórze żywicy akrylowej , metylocelulozy i emulgatora, których sumaryczna zawartość jest mniejsza w przypadku wariantów o wyższej zawartości melaminy i krzemionki.

In the study, the loss in weight decreased with the increase in the amount of melamine used. This test was specific, as the leather sample was isolated from air. Anearobic decomposition is related to the presence of acrylic resin, methyl cellulose and an emulsifier whose total content is lower in the case of variants with higher melamine and silica content.



[Palność-prostokąt – Flammability (rectangle)]

Rycina 11. Wpływ składu kompozycji dogarbowującej na odporność na palność skóry (prostokąt)

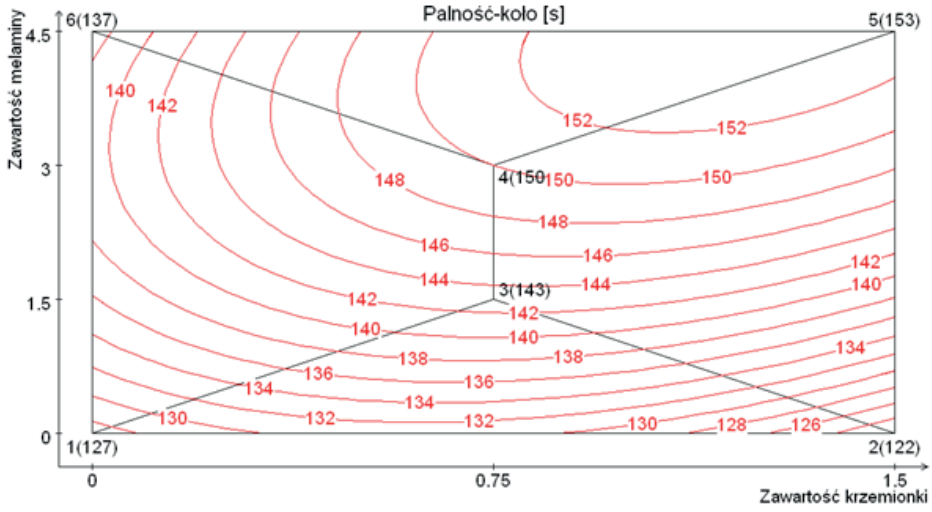
Figure 11. Effect of the composition of the retanning mixture on the flame resistance of the leather (rectangle)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Istnieje optimum ilości krzemionki (ok. 0,75 g tzn. 0,25%) i melaminy (ok. 0,5 g tzn. 0,17%) w kompozycji dogarbowującej, która sprzyja maksymalnej odporności w warunkach prowadzonych badań. To badanie odporności na palność ma charakter specyficzny, związany z występowaniem siły rozrywającej podczas badania. Stąd wyniki badań wskazują, że zwiększenie ilości zarówno użytej melaminy (w większym stopniu), jak i krzemionki (w mniejszym stopniu) obniża odporność na palenie. W rzeczywistości może to być jednak związane nie ze zmniejszeniem się odporności na palność, lecz ze zmianą wytrzymałości skóry na rozciąganie (zależnej także od usytuowania próbki skóry w strukturze topograficznej skóry) w warunkach wysokiej temperatury (moment rozerwania się próbki jest uznawany za kluczowy dla metody).

There were optimal amounts of silica (approx. 0.75 g or 0.25%) and melamine (approx. 0.5 g or 0.17%) in the retanning mixtures, which were conducive to reaching maximum resistance in the test conditions. This flame resistance test was specific, and was associated with the presence of the tearing force during the test. Therefore, the test results indicate that increasing the amount of melamine (to a greater extent) and silica (to a smaller extent) decreases flame resistance. This, however, may not be related to a decrease in flame resistance, but to a change in the tensile strength of leather (which also depends on the location of the leather sample in the topographic structure of the hide) in high-temperature conditions (the moment of the sample becoming torn apart is crucial for this method).



[Palność – koło – Flammability – circle]

Rycina 12. Wpływ składu kompozycji dogarbowującej na odporność na palność skóry (koło)

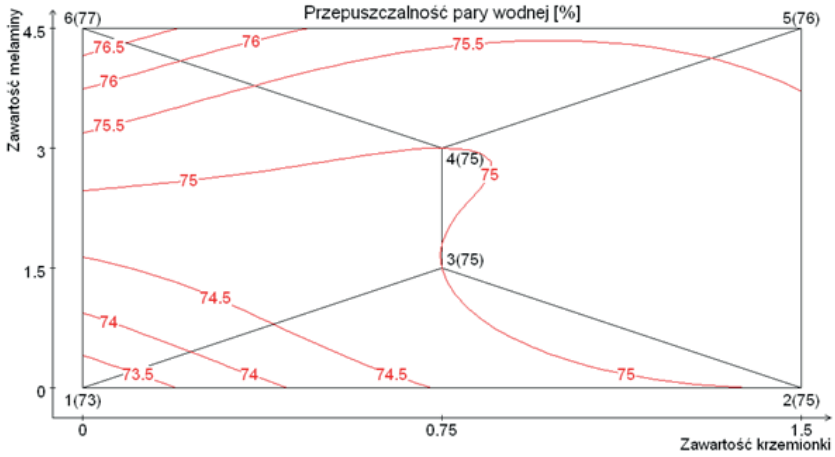
Figure 12. Effect of the composition of the retanning mixture on the flame resistance of leather (circle)

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

W metodzie z pierścieniem większa ilość melaminy w kąpieli dogarbowującej równa się zdecydowanemu wzrostowi odporności skóry na przepalenie. W tym przypadku wyniki badań potwierdzają pozytywny wpływ stosowanych dodatków (przede wszystkim melaminy) na wzrost odporności na palenie. Widoczny efekt synergiczny dodatku krzemionki po przekroczeniu stężenia dodatku melaminy ok. 0,5% (1,5 g).

As regards the ring method, a greater amount of melamine in the retanning batch equals a substantial increase in flame resistance of leather. In this case the results of the tests corroborate the positive impact of the additives used (in particular of melamine) on improved flame resistance. The synergistic effect of adding silica was observed after exceeding approx. 0.5% (1.5 g) concentration of melamine.



[Przepuszczalność pary wodnej – Water vapour permeability]

Rycina 13. Wpływ składu kompozycji dogarbowującej na przepuszczalność pary wodnej skóry

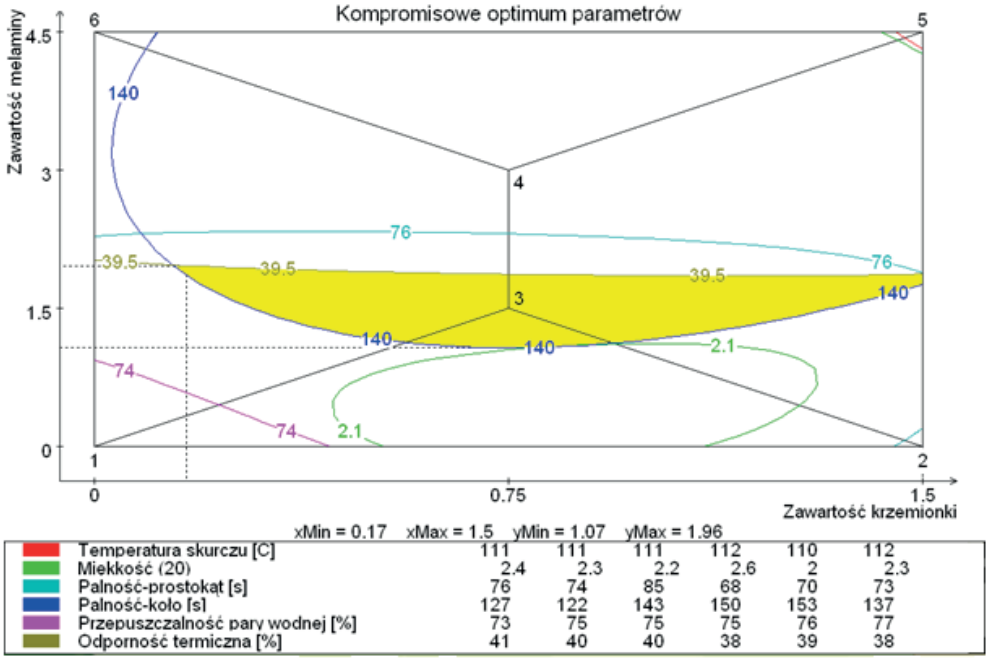
Figure 13. Effect of the composition of the retanning mixture on the water vapour permeability of leather

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

Wprowadzenie krzemionki i melaminy powoduje praktycznie nieznaczący spadek przepuszczalności pary wodnej.

The introduction of silica and melamine results in an insignificant decrease in water vapour permeability.



[Kompromisowe optimum paramterów – Compromise optimum of parameters]

Rycina 14. Kompromisowe optimum składu kompozycji dogarbowującej

Figure 14. A compromise optimum of the composition of the retanning mixture

Źródło: Opracowanie własne.

Source: Own elaboration.

 ISSN 1895-8443

Ocena procesu dogarbowania z dodatkiem środków uniepalniających (krzemionki i melaminy) może być dokonana poprzez pomiar wybranych parametrów skóry. Przy wyborze kompromisowego optimum założono wartości parametrów, które powinna mieć skóra, żeby mogła być uznana za pełnowartościowy materiał. Nie koncentrowano się przy tym wyłącznie na właściwościach związanych z palnością. Nie można przecież w obróbce zaproponować operacji, której efektem będą co prawda skóry o doskonałej odporności na palenie, ale o niskim wskaźniku komfortu użytkowania wyrobu (miękkość) czy właściwości higienicznych (przepuszczalność pary wodnej).

Przy założonych wartościach dotyczących właściwości skóry (temperatura skurczu >110,5°C; miękkość > 2,1; palność-prostokąt > 76 s; palność-koło > 140 s; przepuszczalność pary wodnej > 74%; odporność termiczna (Satra) > 39,5%) kompromisowe optimum parametrów w warunkach przeprowadzonych badań wynosi (po przeliczeniu na stężenie w kompozycji dogarbowującej): dla krzemionki 0,06–0,5% i melaminy 0,35–0,65%.

The assessment of retanning with the addition of flame-retardant agents (silica and melamine) can be carried out by measuring the selected leather parameters. When selecting a compromise optimum, the parameters of leather to be regarded as a full-value material, were assumed. Our focus was not, however, solely on flammability-related properties. It would be ill-advised to recommend a procedure resulting in leather with excellent flame resistance but with low comfort of use (softness) or poor hygienic properties (water vapour permeability).

With the assumed values of leather properties (shrinkage temperature >110.5°C; softness > 2.1; flammability-rectangle > 76 s; flammability-circle > 140 s; water vapour permeability > 74%; thermal resistance (Satra) > 39,5%) a compromise optimum of parameters in the test conditions (after converting into concentration in the retanning mixture) is: for silica 0.06–0.5% and melamine 0.35–0.65%.

Wnioski

Celem niniejszej pracy było określenie wpływu dogarbowania z dodatkiem krzemionki i melaminy na wybrane właściwości skóry, w tym na odporność na palenie.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że:

1. Wzrost ilości użytej melaminy i krzemionki w składzie kompozycji powoduje wzrost odporności próbek skóry na przepalenie, przy czym dominujący jest wpływ melaminy. Potwierdzają to wyniki badań w przypadku zastosowania metody oznaczenia palności za pomocą pierścienia oraz przy użyciu przyrządu Satra.
2. Zastosowanie specjalnej metody oznaczenia palności próbki prostokątnej (próbka podczas badania jest rozciągana) nie potwierdza wyżej wymienionych zależności. Może to jednak wynikać z obniżenia wytrzymałości na rozciąganie w podwyższonej temperaturze, a nie z braku działania zmniejszającego palność przy zastosowanych dodatków melaminy i krzemionki. Zadaniem autorów metoda ta wymaga przeprowadzenia większej liczby oznaczeń (wykonano tylko 3).
3. Dogarbowanie zarówno z dodatkami (krzemionka i melamina), jak i bez dodatków minimalnie obniża przepuszczalność pary wodnej dla wszystkich badanych wariantów. Świadczy to o napełnianiu skór podczas dogarbowania.
4. Dogarbowanie prowadzi do wzrostu temperatury skurczu o max. 4°C.
5. Wyniki optymalizacji wskazują, że kompromisowe optimum przy założonych właściwościach skóry ma miejsce przy doborze składu kompozycji dogarbowującej na poziomie 0,06–0,5% dla krzemionki i 0,35–0,65% dla melaminy w warunkach przeprowadzonych badań.
6. Badania miały charakter wstępny i zostały wykonane w warunkach laboratoryjnych. Planuje się kontynuowanie badań w celu oznaczenia metodami instrumentalnymi ilości środków uniepalniających znajdujących się w skórze dla wybranej optymalnej kompozycji dogarbowującej.

Conclusions

The objective of this paper was to determine the impact of retanning with added silica and melamine on the selected properties of leather, including flame resistance.

On the basis of the conducted tests it was determined that:

1. The increase in the amount of melamine and silica used in the composition of the mixture increases the resistance of leather samples to burnout. This has been corroborated by test results for the application of the flammability determination method utilising the ring and the Satra device
2. The application of a special method for determining the flammability of a rectangular sample (with the sample being stretched during the test) does not confirm the aforementioned relationships. This can, however, stem from a lower tensile strength at higher temperatures, and not from the lack of flame-retardant effect with added melamine and silica. In the authors' opinion, this method requires making more determinations (only 3 were performed).
3. Retanning which involves additives (silica and melamine) and no additives, results in minimally decreased water vapour permeability in all the tested variants. This proves the filling of leather during retanning.
4. Retanning leads to an increase in shrinkage temperature by max. 4°C.
5. The results of the optimisation show that the compromise optimum given the assumed properties of the leather is obtained with the addition of melamine and silica in the retanning mixture at 0.06–0.5% for silica and 0.35–0.65% for melamine under the test conditions.
6. The tests were preliminary and were carried out in laboratory conditions. Further tests are planned in order to determine the amount of flame-retardant agents in leather in the selected optimal retanning mixture using instrumental methods.

Literatura/Literature

[1] Bacardit A., Borràs M.D., Soler J., Herrero V., Jorge J., Olle L.L., *Behavior of leather as a protective heat barrier and fire resistant material* 2010, "Journal of the American Leather Chemists Association" 105(2), 51–61.

[2] Chen W., Liu C., Gong Y., Huang Z., *Influence of tanning on the flammability of leather,* "Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists" 2007, 91(4), 159–161.

[3] Gong Y., Chen W., Chen J., Gu H., *Influence of finishing on the flammability of leather,* "Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists" 2007, 91(5), 208–211.

[4] Huang Z., Lixin L.I., Chen W., Gui H., *Influence of fatliquoring on flammability of leather,* "Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists" 2006. 90(4), 155–158.

[5] Huang Z., Li L., Wang Y., Lin Y., Chen W., *Performance of flame retardants on leather,* "Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists", 2005, 89(6), 225–231.

[6] Xiuli Z., Yi C., Haojun F., Bi S., *Waterborne polyurethane/O-MMT nanocomposites for flame retardant leather finishing,* "Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists" 2010, 94(2), 77–83.

[7] Yuanping Jiang, Jiaxun Li, BoLi, Hongyan Liu, Zhengjun Li, Lixin Li, *Study on a novel multifunctional nanocomposite as flame retardant of leather*, "Polymer Degradation and Stability" 2015, 115, 110–116.

[8] Liutao Y., Lixin L., Wuyong C., Lin L., Feng C., *Thermal degradation kinetics and flame retardancy of hide treated with montmorillonite-amino resin nano-composite,* "Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists" 2010, 94(1), 9–14.

[9] Mohamed O.A., Abdel-Mohdy F.A., *Preparation of flame-retardant leather pretreated with pyrovatex CP*, "Journal of Applied Polymer Science", 2006, 99(5), 2039–2043.

[10] Huijiao L., Jinwei Y., Ling X., (...), Minglian L., Lixin L., *The synthesis and application of a high performance amino resin nanocomposite as leather flame retardant*, "Journal of the Society of Leather Technologists and Chemists" 2012, 96(1), 5–10.

[11] Gaidau C., Popescu M., Piticescu M.R., Petica A., Anicai L., Iordache O., *New smart materials for leather surface functionalisation* (Conference Paper), XXXIII IULTCS Congress. 33rd International Union of Leather Technologists and Chemists, IULTCS Congress 2015; Novo Hamburgo; Brazil; 24–27 November 2015.

[12] Kozlowski R.M., Muzyczek M., Walentowska J., *Flame retardancy and protection against biodeterioration of natural fibers: State-of-Art and Future Prospects*, "Polymer Green Flame Retardants", August 26, 2014, 801–836.

[13] Kozłowski R.M., Muzyczek M., *Improving the flame retardancy of natural fibres*2012, "Handbook of Natural Fibres" 2, 30–62.

[14] Śmiechowski K., Beleska K., Zaliauskiene A., *Coordinated approach to production of soft leather,* "Journal of the Society of Leather Technologists & Chemists (JSLTC)", Vol. 85 September–October 2005, 199–204.

[15] Maxwell C.A., Śmiechowski K., Żarłok J., Sionkowska A., Wess T.J., *X-ray studies of a collagen material for leather production treated with chromium salt*, JALCA, 2006, Vol. 101, 9–17.

[16] Lacy P.D.A., *Flammability and heat resistance of natural and synthetic leathers*, "Journal of "Coated Fabrics" 1976 5(3), 186–203.

[17] Yun-Xia Wei, Cong Deng, Ze-Yong Zhao, Yu-Zhong Wang, *A novel organic-inorganic hybrid SiO2@DPP for the fire retardance of polycarbonate*, "Polymer Degradation and Stability", 154 (2018), 177–185.

[18] Sanchez-Olivares G., Sanchez-Solis A., Calderas F., (...), Di Blasio A., Alongi J., *Sodium montmorillonite effect on the morphology, thermal, flame retardant and mechanical properties of semi-finished leather*, "Applied Clay Science" (2014), 102, 254–260.

[19] Prospekt Hurtowni Zaopatrzenia i zbytu RZEMIOSŁO Sp. z o.o. ul. Okulickiego 39, Radom.

[20] http://www.zapulawy.pl/402-melamina/lang/pl-PL/default.aspx [dostęp 27.02.2017].

[21] https://www.wacker.com [dostęp 27.02.2017].

[22] https://www.carlroth.com/downloads/sdb/pl/8/SDB_8421_PL_PL.pdf [dostęp 10.01.2017].

[23] http://www.schillseilacher.de/en/markets-products/leather-chemicals/shoes.html [dostęp 27.02.2017].

[24] PN-EN ISO 3380:2005 *Wyznaczanie temperatury skurczu.*

[25] PN-EN ISO 17235:2002 *Wyznaczanie miękkości.*

[26] Śmiechowski K., Żarłok J., Skiba J., *Sposób pomiaru przepuszczalności pary wodnej*, Urząd Patentowy RP, Warszawa, Patent nr 210759, 29.02.2012.

[27] Kleeman W., *Plaste und Kautschuk*, 11, 1964, 723.

[28] Smirnow W., Jakubczyk K., *OPTIKOMA program komputerowy*, Politechnika Radomska, WMiTO 1997.

DR HAB. INŻ. KRZYSZTOF ŚMIECHOWSKI, PROF. UTH RAD. – reprezentuje nauki techniczne. Jest kierownikiem Zakładu Ekotechnologii Kolagenu i Tłuszczów na Wydziale Materiałoznawstwa Technologii i Wzornictwa Uniwersytetu Technologiczno-Humanistycznego im. K. Pułaskiego w Radomiu. Był dziekanem WMTiW, który zainicjował (wspólnie z rektorem UTH prof. Zbigniewem Łukasikiem) i otworzył kierunek studiów BHP. Obecnie jest kierownikiem zespołu odpowiedzialnego za kierunek studiów I stopnia BHP w WMTiW. Interesuje się tematyką polimerów naturalnych, szczególnie kolagenem. Realizuje działania badawcze w zakresie aplikacyjnym, technologicznym, materiałoznawczym, jak również obejmujące zagadnienia społecznej odpowiedzialności biznesu (CSR), ochrony środowiska i BHP.

INŻ. MARLENA STACHOWICZ – absolwentka Wydziału Materiałoznawstwa Technologii i Wzornictwa UTH w Radomiu na kierunku Technologia Chemiczna. Odbyła praktyki studenckie w Medicofarma S.A. Od 2017 roku studentka II stopnia na kierunku Technologia Chemiczna WMTiW UTH Radom.

KRZYSZTOF ŚMIECHOWSKI PH.D. ENG. – professor at the Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, represents technical sciences. He is the Chair of the Institute of Ecotechnology of Collagen and Fats at the Faculty of Materials Science and Design of the Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom. He served as Dean of the faculty and opened (together with the Vice-Chancellor of the Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Prof. Zbigniew Łukasik) the study major in OHS. At present he is the Head of the team responsible for the first-cycle studies in OHS at the Faculty of Materials Science and Design. His main interests include natural polymers, in particular collagen. He conducts research in the field of application, technology and materials science, including the issues of corporate social responsibility (CSR), environment protection and OHS.

MARLENA STACHOWICZ ENG. – graduate of engineering studies in Chemical Technology at the Faculty of Materials Science and Design of the Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom. She completed practical placement at Medicofarma S.A. In 2017 she enrolled for second-cycle studies in Chemical Technology at the University of Technology and Humanities in Radom.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

BiTP

BEZPIECZEŃSTWO I TECHNIKA POŻARNICZA
SAFETY & FIRE TECHNIQUE

МЫ ПРИГЛАШАЕМ ВАС К СОТРУДНИЧЕСТВУ

Редакция ежеквартального журнала **BiTP. Безопасность и Пожарная Техника** Предлагает Вам присылать проекты научных и обзорных статей, отчёты об исследованиях и случаях, а также научные рецензии, касающиеся широко понимаемой безопасности (на английском или русском языках).

Правила для Авторов доступны на интернет-странице http://bitp.cnbop.pl/ru.

Журнал индексирован в международных базах научных исследований

Реклама статей на интернет-порталах для учёных

Бесплатная публикация в открытом доступе

Журнал в перечне польского Министерства Науки и Высшего Образования

dr inż. Tadeusz Kęsoń[a)]*

[a)] *Szkoła Główna Służby Pożarniczej, Wydział Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego, Katedra Bezpieczeństwa Wewnętrznego, Zakład Zarządzania Bezpieczeństwem i Logistyki / The Main School of Fire Service, Civil Safety Engineering Faculty, Internal Security Department, Institute of Security Management and Logistics*
**Autor korespondencyjny / Corresponding author: tkeson@sgsp.edu.pl*

Studiowanie na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne w procesie przygotowania kadr dla instytucji zajmujących się bezpieczeństwem. Badania poznawcze i porównawcze – wybrane problemy

Internal Security Studies in the Process of Preparing Human Resources for the Institutions Responsible for Security. Preliminary and Comparative Studies – Selected Problems

Обучение в области внутренней безопасности в процессе подготовки кадров для учреждений, занимающихся вопросами безопасности. Когнитивные и сравнительные исследования – выбранная проблематика

ABSTRACT

Cel: Celem niniejszych rozważań jest przedstawienie wybranych wyników badań, które miały m.in. pozwolić na udzielenie odpowiedzi na pytania: Kim są studiujący na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne? Skąd pochodzą? Czym kierują się w wyborze kierunku studiów? Co chcieliby robić po ukończeniu studiów? Ile czasu przeznaczają na naukę własną?
Projekt i metody: Badania zrealizowano w dwóch etapach. Na przełomie lat 2014/2015 na próbie liczącej 350 studentów z pięciu uczelni przeprowadzono badania rekonesansowe, a w 2017 r. na próbie liczącej 408 respondentów z 4 uczelni – badania porównawcze. Wykorzystano metodę sondażu diagnostycznego. Materiał badawczy zebrano w kwestionariuszach ankiety, zawierających po 25 pytań, w tym 3 otwarte.
Wyniki badań: Wyniki badań ankietowych poddano analizie statystycznej w programie Statistica 10.0, przy przyjętym poziomie istotności $p \leq 0,5$, a następnie dokonano ich analizy i syntezy. Wyniki badań potwierdziły hipotezy badawcze, że studiujący na kierunkach związanych z bezpieczeństwem są przedstawicielami różnych środowisk społecznych, są zróżnicowani wiekowo i rozpoczynali studia w różnym okresie po zdaniu matury. Znaczna część studiujących, nie tylko w trybie niestacjonarnym, ale również stacjonarnym łączy studia z pracą zawodową.
Wnioski: Uzyskane w wyniku przeprowadzonych badań wyniki i wyciągnięte z nich wnioski są bardzo wartościowym materiałem – zarówno teoretycznym, jak i praktycznym. Pozwalają z jednej strony na przygotowanie przez uczelnie zmian w programach, metodach i formach kształcenia oraz przygotować się do procesu rekrutacji absolwentów szkół średnich. Z badań wynika, że w przeważającej części studiującymi na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne są osoby pochodzące z małych miejscowości i zasadniczą przyczyną podejmowania studiów na tych kierunkach jest chęć podjęcia pracy, w pierwszej kolejności zgodnie z kierunkiem studiów w służbach mundurowych lub w administracji publicznej. Jest również znaczna część studentów, którzy podjęli studia bez związku z przyszłą pracą. Negatywnym zjawiskiem jest fakt, że ponad 50% studiujących przeznacza na naukę własną mniej niż 2 godziny dziennie. Stawia to pod znakiem zapytania, nie tylko poziom i wymagania stawiane przed studentami, ale również ich merytoryczne przygotowanie do podjęcia pracy.
Słowa kluczowe: bezpieczeństwo wewnętrzne, zarządzanie zasobami ludzkimi, zarządzanie ciągłością działania, studiowanie bezpieczeństwa
Typ artykułu: doniesienie wstępne

Przyjęty: 31.08.2018; Zrecenzowany: 09.11.2018; Zatwierdzony: 22.11.2018;
Identyfikator ORCID autora: 0000-0002-7047-7811;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 86–103, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.6;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The purpose of this discussion is to present selected research results which were aimed at obtaining answers to the following questions: Who are internal security students? Where do they come from? What are they guided by in choosing their field of study? What do they intend to do after graduation? How much time do they spend on self-study?

Design and methods: The survey was carried out in two stages. In late 2014/early 2015, a preliminary study was conducted on a sample of 350 students from five universities, and in 2017 a sample of 408 respondents from 4 universities was covered by a comparative study. The research used one of the quantitative research methods, which is a diagnostic survey. The research material was collected using a questionnaire containing 25 questions, including 3 open-ended ones.
Results: The results of the survey were analysed and synthesised following statistical analysis using the Statistica 10.0 software with the assumed significance level of $p \leq 0.5$. The study results confirmed the research hypotheses that students in areas related to safety and security come from a variety of social backgrounds, are age-diverse and started their studies at various times after passing their secondary school leaving exams. A significant number of students, not only of part-time studies but also of full-time studies, combine studies with professional work.
Conclusions: The results obtained in the study and the conclusions drawn from them provide a highly valuable source of both theoretical and practical information. They enable universities to prepare changes in the programmes, methods and forms of education and to plan the recruitment process of secondary school graduates. Research shows that the majority of students of internal security come from small towns and the main reason for undertaking studies in these fields is their intention to find a job that is primarily compatible with their field of study, in uniformed services or in public administration. There is also a significant proportion of students who have taken up studies with no relation to future work. A negative phenomenon is the fact that over 50% of students spend less than 2 hours a day on self-study. This puts into question not only the level and requirements set for students, but also their acquired level of expertise needed to pursue a professional career.
Keywords: internal security, human resources management, business continuity management, security studies
Type of article: short scientific report

Received: 31.08.2018; Reviewed: 09.11.2018; Accepted: 22.11.2018;
Author's ORCID ID: 0000-0002-7047-7811;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 86–103, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.6;
This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: целью настоящих размышлений является представление отдельных результатов исследований, которые, среди прочего, должны были дать ответ на следующие вопросы: Кем являются студенты, изучающие внутреннюю безопасность? Откуда они родом? Каковы руководящие принципы при выборе области обучения? Что они хотели бы сделать после окончания обучения? Сколько времени они уделяют собственному обучению?
Проект и методы: Исследование проводилось в два этапа. На рубеже 2014/2015 годов по выборке из 350 студентов из пяти университетов было проведено предварительное исследование, а в 2017 году по выборке из 408 респондентов из 4 университетов проводилось сравнительное исследование. Использован метод диагностического исследования. Материал исследования был собран в анкетах, содержащих 25 вопросов, в том числе 3 открытых.
Результаты исследований. Результаты анкетных опросов были подвергнуты статистическому анализу в программе Statistica 10.0 с предполагаемым уровнем значимости $p \leq 0{,}5$, а затем были выполнены их анализ и синтез. Результаты исследования подтвердили гипотезы исследования о том, что учащиеся на факультетах, связанных с безопасностью, являются представителями различных социальных сред, различны по возрасту и начали свои занятия в разные периоды после сдачи выпускных экзаменов. Значительная часть студентов, не только на нестационарных, но и на дневной форме обучения, совмещает учебу с профессиональной работой.
Выводы: полученные результаты и сделанные из них выводы являются очень ценным материалом – как теоретическим, так и практическим. Они позволяют, с одной стороны, подготовить изменения в программах, методах и формах обучения в университетах и подготовиться к процессу набора выпускников средней школы. Исследования показывают, что по большей части те, кто обучается на факультетах, связанных с внутренней безопасностью, – это люди из небольших городов, и главной причиной выбора студентами таких направлений обучения является их желание работать, в первую очередь, согласно выбранной области обучения, в органах безопасности или государственного управления. Существует также значительная доля студентов, которые приступили к учебе без связи с будущей работой. Негативным явлением является тот факт, что более 50% студентов посвящают менее 2 часов в день на собственное обучение. Это ставит под вопрос не только уровень и требования, предъявляемые к студентам, но и их основную подготовку к будущей работе.
Ключевые слова: внутренняя безопасность, управление персоналом, управление непрерывностью деятельности, исследования безопасности
Тип статьи: предварительный отчет

Принята: 31.08.2018; Рецензирована: 09.11.2018; Одобрена: 22.11.2018;
Идентификатор ORCID автора: 0000-0002-7047-7811;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 86–103, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.6;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Wprowadzenie

Integralną częścią systemów zapewniania bezpieczeństwa jest człowiek, który bazując na wiedzy, umiejętnościach i doświadczeniu, jest w stanie, nie tylko zarządzać i kierować tymi

Background

People are the integral part of every security management system. Knowledge, skills and experience enable them not only to manage and control such systems, but also to make

systemami, ale podejmować kluczowe z punktu widzenia skuteczności i ciągłości ich działania decyzje. Zdolność działania w obliczu zagrożeń, a w szczególności zapewnienie jego ciągłości, zwłaszcza w sytuacjach niedoboru sił i środków, czy też w momencie, gdy parametrem krytycznym staje się czas, stawia decydenta, operatora systemu zapewniania bezpieczeństwa przed specyficznym zadaniem udowodnienia, że tworzy on wartość dodaną systemu. Stanowi on bowiem zasadniczy element zasobów każdej organizacji [1]. Dlatego też, to wiedza i umiejętności człowieka sprawiają, że c nie jest on najsłabszym ogniwem systemu.

Przygotowanie czynnika ludzkiego nabiera szczególnego znaczenia nie tylko w sytuacjach zwalczania znanych i nowo pojawiających się zagrożeń, ale jest ono istotne zwłaszcza na etapie przygotowywania wszelkiego rodzaju planów: zarządzania kryzysowego, ciągłości działania, ratowniczo-gaśniczych, ochrony i obrony w tym: ludności, infrastruktury krytycznej, obiektów o szczególnym znaczeniu dla bezpieczeństwa i obronności państwa, przeciwpożarowych, przeciwpowodziowych i wielu innych. Każda z osób funkcjonujących w systemie zapewniania bezpieczeństwa, bez względu na podmiot i przedmiot jej działania, musi zdawać sobie sprawę, że może zdarzyć się sytuacja, kiedy to jej działanie, wiedza i umiejętności mogą przyczynić się do osiągnięcia sukcesu, zlikwidowania zagrożenia i usunięcia jego skutków. Brak wiedzy i umiejętności, a także zaniechanie działania mogą spowodować negatywne skutki dla osób, mienia i środowiska.

Każdy proces dotyczący zapewniania bezpieczeństwa nie jest tylko działaniem realizowanym w sytuacji kryzysowej, ale związany jest z bieżącym zapobieganiem, przygotowaniem do działania w sytuacji kryzysowej, utrzymaniem gotowości do jak najszybszej reakcji, a po zdarzeniu odtworzeniem i przywróceniem do działania infrastruktury oraz uczynienie jej bardziej odpornej na negatywne i destrukcyjne zdarzenia. Cykl ten powinien stale doskonalony, a czynności z niego wynikające powinny opierać się na analizowaniu i diagnozowaniu zagrożeń. Osoby realizujące zadania w tym zakresie muszą zdawać sobie sprawę z faktu, że przygotowanie i utrzymanie skutecznego systemu zapewniania bezpieczeństwa, bez względu na skalę (mikro czy makro), wymaga od nich niezwykle dokładnej analizy wszelkich procesów zachodzących w systemie oraz na niego oddziałujących. Analiza ta dotyczy także relacji zachodzących między tymi procesami, a także ryzyka (w tym jego właścicieli) oraz poziomu jego akceptacji. Tylko system tworzony na podstawie takiej analizy i diagnozy oraz wynikających z nich wniosków i prognoz pozwalał będzie na możliwie najbardziej skuteczną ochronę przed zagrożeniami oraz skutkami negatywnych zdarzeń Umożliwi to podejmowanie uzasadnionych w zakresie [2]:

- funkcjonowania elementów systemu w warunkach zagrożeń oraz wdrażania mechanizmów i procedur mających ma celu ograniczenie wystąpienia zakłóceń w jego funkcjonowaniu czy też minimalizujących ryzyko przerwania jego działalności;
- działań planistycznych w zakresie przeznaczania i uruchamiania środków inwestycyjnych umożliwiających skuteczne odtworzenie zniszczonych elementów systemu.

Aby tak przygotować działanie wszelkich ogniw systemów zapewniania bezpieczeństwa, bardzo ważne jest bazowanie na odpowiednio przygotowanej kadrze. Dlatego istotne jest

key decisions in the context of their effectiveness and continuity. Due to the necessity for the system to remain operational in the face of danger, and particularly to retain continuity, especially where manpower and equipment is scarce, or where time is of the essence, the decision-maker who is the security management system operator is faced with the task of proving that he or she provides added value to the system. The decision-maker forms the essential component of every organisations's resources [1]. For this reason, it is the knowledge and skills that preclude him or her from being the weakest link in the system.

Not only does the appropriate preparation of the human factor acquire special significance in situations of fighting known and new threats, but it is also important at the stage of developing plans of any type, including crisis management, business continuity, fire and rescue, security and defence of, i.a., the population, critical infrastructure, buildings of vital significance for state security and defence, firefighting, flood protection and in many other areas. Every person being part of a security management system, regardless of the subject and object of their activity, must realise that there are possible situations where their action, knowledge and skills might contribute to success, eliminating the threat or removing its effects. On the other hand, lack of knowledge or skills and inaction might endanger people, property and the environment.

Every process aimed at maintaining safety involves not only responding to emergency situations, but also ongoing prevention, preparation to action, constant preparedness to respond quickly and, after an event, the restoration and bringing back into use of infrastructure and making it more resistant to adverse and destructive events. This cycle should be constantly improved and the actions involved should be based on the analysis and identification of the risks. Individuals performing such tasks should be aware of the fact that preparing and maintaining an effective security management system, regardless of scale (micro or macro), requires a meticulous analysis of all processes occurring within and affecting the system. This analysis also involves the relationships between these processes and also the risk (including to its owners) and the level of risk acceptance. Only a system developed on the basis of such analysis and identification, and the resulting conclusions, will allow the most effective protection against risks and effects of adverse events. This will facilitate making informed decisions in terms of [2]:

- the functioning of the system's elements under conditions involving risks and the implementation of mechanisms and procedures aimed at reducing the occurrence of disruptions in its operation or minimising the risk of breaking its continuity;
- planning activities involving the designation and deployment of funds which allow the effective restoration of the damaged elements of the system.

To prepare the operation of all elements in security management systems in this way, it is essential to base it on properly trained personnel. For this reason, it is important to acquire knowledge about students in areas of security, who are the human resources to make up the future decision-making

 ISSN 1895-8443

zdobycie wiedzy na temat studiujących na kierunkach związanych z bezpieczeństwem, którzy stanowić będą zasoby ludzkie, z których mogą wywodzić się przyszli decydenci i operatorzy systemów zapewniania bezpieczeństwa. Celom takim służyły dwa cykle badań dotyczących osób studiujących na kierunkach związanych z bezpieczeństwem – badania rekonesansowe przeprowadzone w 2015 r. i badania porównawcze w 2017 r.

Student i studiowanie bezpieczeństwa – badania rekonesansowe i porównawcze. Podstawowe informacje o badaniach

Założeniem zespołu badawczego było przeprowadzenie dwóch edycji badań ankietowych studiujących na kierunkach związanych z bezpieczeństwem. W pierwszym etapie – badania rekonesansowe, realizowane pod auspicjami Katedry Podstaw Bezpieczeństwa Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, na przełomie lat 2014 i 2015. Badaniami objęto N = 350 studiujących na pierwszym stopniu studiów w trybie stacjonarnym i niestacjonarnym, na kierunkach: bezpieczeństwo wewnętrzne (bw) i bezpieczeństwo narodowe (bn). Badania przeprowadzono na pięciu wyższych uczelniach: Akademii Obrony Narodowej w Warszawie, Akademii Pomorskiej w Słupsku, Szkole Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie, Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie, Wyższej Szkole Handlowej w Radomiu.

W drugim etapie – badania porównawcze, realizowane w 2017 r. pod auspicjami Katedry Bezpieczeństwa Wewnętrznego i Informatyki Państwowej Wyższej Szkoły Zawodowej w Koninie. Badaniami objęto N = 408 studiujących na studiach pierwszego stopnia, w trybie stacjonarnym i niestacjonarnym, na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne. Badania przeprowadzono na czterech wyższych uczelniach: Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Koninie, Szkole Głównej Służby Pożarniczej, Uniwersytecie Warmińsko-Mazurskim w Olsztynie, Wyższej Szkole Informatyki i Zarządzania w Radomiu.

Wyniki badań:

- rekonesansowych (poznawczych) zostały opublikowane i omówione w 2015 r. w monografii *Student i studiowanie bezpieczeństwa. Badania rekonesansowe. Raport końcowy* autorstwa Tadeusza Kęsonia i Mariana Lutostańskiego (obliczenia i zestawienie danych statystycznych wykorzystanych do opracowania Raportu przygotowali: Monika Radzymińska i Wojciech Rejmer);
- porównawczych – są na etapie opracowywania.

Liczebność grup badawczych studentów kierunków związanych z bezpieczeństwem, różniła się o 58 badanych (w badaniu rekonesansowym N = 350, a w badaniu porównawczym N = 408). Należy zaznaczyć, że badania z 2015 r. objęły studiujących na dwóch kierunkach: bezpieczeństwo narodowe (N_{bn} = 232) i bezpieczeństwo wewnętrzne (N_{bw} = 118), a badania z 2017 r. objęły studiujących na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne (N = 408). Taki bowiem kierunek studiów prowadzony był na uczelniach, których studentów włączono do badań.

Analiza uzyskanych w 2015 r. odpowiedzi jednoznacznie wskazuje, że bez względu na to, czy badani studiowali na

bodies and operators of security management systems. This was the purpose of two series of surveys of people in study programmes related to security - the preliminary studies performed in 2015 and the comparative studies conducted in 2017.

Students and studying security – preliminary and comparative studies. Basic information on the surveys

The objective of the research team was to conduct two series of survey studies of students in study programmes related to security. The first stage involved a preliminary survey conducted under the auspices of the Department of Security Fundamentals of the University of Warmia and Mazury in Olsztyn, in late 2014/early 2015. The surveys involved N = 350 full-time and part-time students of the first-cycle programmes in internal security (bw) and national security (bn). The surveys were conducted at five higher education institutions: National Defence University in Warsaw, Pomeranian University in Słupsk, the Main School of Fire Service in Warsaw, University of Warmia and Mazury in Olsztyn and Radom Academy of Economics.

The second stage involved a comparative study conducted in 2017 under the auspices of the Department of Internal Security and Information Technology of the State University of Applied Sciences in Konin. The survey involved N = 408 full-time and part-time students of first-cycle programmes in internal security and national security. The surveys were conducted at four higher education institutions: The State University of Applied Sciences in Konin, the Main School of Fire Service, the University of Warmia and Mazury in Olsztyn and the Higher School of Information Technology and Management in Radom.

The results of:

- Preliminary (exploratory) studies were published and discussed in 2015 in the monograph *The student of and studying security. Preliminary studies Final report* by Tadeusz Kęsoń and Marian Lutostański (the calculations and comparison of statistical data for the report were prepared by: Monika Radzymińska and Wojciech Rejmer);
- comparative studies – processing in progress.

The population of sample groups of students of security-related programmes differed by 58 respondents (N = 350 in the preliminary study and N = 408 in the comparative study). It should be noted that the surveys from 2015 covered students of two programmes: national security (N_{bn} = 232) and internal security (N_{bw} = 118), and the surveys from 2017 covered students of internal security (N = 408). It was the field of study available at the higher education institutions whose students were enrolled in the studies.

An analysis of the responses obtained in 2015 indicates that regardless of whether the respondents studied national security

kierunku bezpieczeństwo narodowe, czy bezpieczeństwo wewnętrzne, to procentowo uzyskiwane wyniki były zbliżone. Kierunek studiów nie zmieniał więc charakteru odpowiedzi.

Ponadto w analizie statystycznej i rozkładzie Chi-kwadrat Pearsona wyników badań z 2015 r. grupę badanych studiujących na obu kierunkach w znacznej części analizy traktowano łącznie N = 350. Jednocześnie analiza statystyczna wyników badań studiujących na poszczególnych kierunkach nie wskazywała istotnych rozbieżności między nimi (np. w zakresie głównej przyczyny podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem, czasu, jakim student dziennie dysponuje i jaki przeznacza na samodzielną naukę) [3]. Można zatem, zdaniem autora, dokonać porównania wyników badań prowadzonych w latach 2015 i 2017.

Zestawienie liczby badanych studiujących w badaniu rekonesansowym i porównawczym w podziale na tryb i kierunek studiów oraz ze względu na płeć studiującego przedstawia tabela 1.

or internal security, the percentage results were similar. The field of study did not affect the response type.

Furthermore, in the statistical analysis and Pearson's Chi-square test of the study results from 2015 the groups of students of both programmes were substantially treated as a single group N = 350. At the same time, the statistical analysis of the results of students of each programme did not show significant discrepancies between them (e.g. in terms of the main reason for taking up studies in a security-related field and the time that students have at their disposal every day and spend on learning) [3]. According to the author, it is possible to compare the results of studies conducted in 2015 and 2017.

Table 1 presents a comparison of the number of student respondents in the preliminary and comparative studies divided by mode and programme of study and by the gender of the student.

Tabela 1. Zestawienie liczby badanych studiujących w badaniu rekonesansowym i porównawczym w podziale na tryb i kierunek studiów oraz ze względu na płeć studiującego

Table 1. Comparison of student respondents in the preliminary and comparative research, divided by the mode and programme of study and by the gender of the student

Tryb studiów/Mode of study	Badania/Research				Badania/Research	
	Rekonesansowe 2015 Preliminary 2015			Porównawcze 2017 r. Comparative 2017	Rekonesansowe 2015 r. Preliminary 2015	Porównawcze 2017 r. Comparative 2017
	Liczba badanych/Number of respondents				Płeć studiującego/Student gender	
	N	Nbn	Nbw	N = Nbw	Kobiety/Female	
Stacjonarne/Full-time studies	170	137	33	311	196 (56%)	199 (49%)
Niestacjonarne/Part-time studies	180	95	85	97	Mężczyźni/Male	
Ogółem/Total	350	232	118	408	154 (44%)	209 (51%)

Źródło: Dane za 2015 r. Opracowanie na podstawie danych statystycznych [4, s. 16 i 17]. Dane za 2017 r. – opracowanie własne.

Source: Data for 2015 based on statistical data [4, p. 16 - 17]. Data for 2017 – own study.

Studiujących badanych było odpowiednio w 2015 r. i 2018 r. na:

- I roku studiów 127 osób (36,3%) oraz 106 osób (26%);
- II roku studiów 75 osób (21,4%) oraz 138 osób (33,8%);
- III roku studiów 148 osób (42,3%) oraz 164 osoby (40,2%).

Chociaż badanych studiujących na II roku studiów w 2018 r. było o 84% więcej niż w 2015 r., to okazało się, że charakter udzielanych odpowiedzi nie zmienił trendów, które zidentyfikowane zostały w badaniach rekonesansowych 2015 r. Zdaniem autorów badań uwiarygodniło to zarówno zastosowane narzędzia badawcze, jak i uzyskane wyniki.

The students who took part in the survey in 2015 and 2018 included, respectively:

- first-year students – 127 respondents (36.3%) and 106 respondents (26%);
- second-year students – 75 respondents (21.4%) and 138 respondents (33.8%);
- third-year students – 148 respondents (42.3%) and 164 respondents (40.2%);

Although there were 84% more respondents who were second-year students in 2018 than in 2015, it was found that the trends in the responses given did not change from the ones identified in the preliminary survey in 2015. In the opinion of the authors, it adds credibility to both the research tools used and the results obtained.

Metody badawcze, cele badań problemy oraz hipotezy badawcze

W obu badaniach posłużono się metodą sondażu diagnostycznego i kwestionariuszem ankiety, w którym ankietowani odpowiadali na 25 pytań, w tym:

- 23 pytania zamknięte – dotyczące: płci i wieku studiującego;, stanu cywilnego i liczby posiadanych dzieci; lat od zdania matury i podjęcia studiów; roku, trybu i kierunku studiów; miejsca: zamieszkania/pochodzenia; statusu

Research methods, objectives, problems and hypotheses

Both studies used the diagnostic survey method and a survey questionnaire featuring 25 questions, including:

- 23 closed-ended questions regarding the student's gender and age, marital status and number of children; years from passing the secondary school leaving exam and taking up studies, mode and programme of studies; place of residence/origin; professional sta-

 ISSN 1895-8443

zawodowego, w tym: rodzaju wykonywanej pracy/służby; przyczyn podjęcia oraz wyboru kierunku studiów; procesu uczenia się, w tym: liczby godzin przeznaczanych na naukę własną, zainteresowania i przeznaczania czasu na naukę poszczególnych przedmiotów; zidentyfikowania przedmiotów sprawiających najwięcej trudności, preferowanych form prowadzenia zajęć oraz ich efektywności;
– 2 pytania otwarte – mające na celu podanie przyczyn problemów w przyswajaniu wiedzy z przedmiotów wymienionych przez studiującego jako trudne.

Badanie rekonesansowe/poznawcze miało na celu dostarczenie danych, które umożliwią określenie profilu studiującego na kierunkach związanych z bezpieczeństwem, sprawdzenie sformułowanych hipotez badawczych, zweryfikowanie opracowanego narzędzia badawczego oraz przygotowanie do przeprowadzenia drugiego etapu badań – badań porównawczych.

Badanie porównawcze miało na celu potwierdzenie hipotez badawczych, sprawdzenie uzyskanych wyników w badaniach rekonesansowych, potwierdzenie lub zanegowanie wniosków i trendów wyłaniających się po badaniach pierwszego etapu.

W badaniach rekonesansowych poszukiwano odpowiedzi na trzy zasadnicze pytania **problemu badawczego** [5, s. 8]:

1. „Czym się charakteryzuje student kształcący się na kierunku bezpieczeństwo narodowe (BN) lub bezpieczeństwo wewnętrzne (BW)?
2. Jaki jest pogląd studenta kształcącego się na kierunku BN i BW na temat studiowania bezpieczeństwa oraz jaki jest powód studiowania?
3. Czy przyjęte narzędzia i procedury badawcze są wystarczająco użyteczne do sformułowania optymalnego planu badawczego i przeprowadzenia badań właściwych?"

oraz weryfikowano trzy **hipotezy badawcze** [5, s. 9]:

1. „Studenci kształcący się na kierunku BN lub BW są przedstawicielami różnych środowisk społecznych (miasto, wieś), są zróżnicowani wiekowo, mają różne obowiązki rodzinne, zawodowe, które mogą wpływać na jakość studiowania.
2. Studenci kształcący się na kierunku BN lub BW nie zawsze wiążą podnoszenie kwalifikacji z przyszłą pracą zawodową, co może oznaczać, iż studiowanie bezpieczeństwa jest postrzegane jako sposób na uzyskanie dyplomu ukończenia studiów wyższych.
3. Przyjęte w badaniach rekonesansowych narzędzie badawcze i procedura badawcza mogą okazać się nieoptymalne i wymagać korekty przed przeprowadzeniem badań głównych".

Ponieważ badania rekonesansowe wykazały przydatność narzędzia badawczego, a kwestionariusz ankiety nie wymagał zmian w treści pytań, w badaniu porównawczym skupiono się na zweryfikowaniu dwóch pierwszych pytań problemu i hipotez badawczych oraz sprawdzeniu:

– czy i na ile zmieniła się charakterystyka studiującego na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne;
– czy i jak zmieniły się poglądy oraz powody podejmowania studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem.

W obu badaniach obliczenia statystyczne wykonano w programie Statistica. Wykorzystując test Chi-kwadrat Pearsona, przy poziomie istotności $p \leq 0{,}05$, określono, które z badanych zmiennych są zależne, a które niezależne.

tus, including the type of work/service; the reasons for starting and choosing a specific programme of study; the learning process, including the number of hours spent on own learning, interests and time spent studying by subject; identifying the most difficult subjects, the preferred form of classes and their effectiveness.
– 2 open-ended questions – for specifying the reasons of problems in acquiring knowledge in subjects mentioned by the student as difficult.

The preliminary study was aimed at providing data to define the profile of a student of security-related programmes, to test the specified research hypotheses and to verify the prepared research tool and to prepare the second stage of research – the comparative study.

The comparative study was aimed at confirming the research hypotheses, testing the results obtained in the preliminary study and confirming or rejecting the results and trends found at the first stage of research.

The preliminary study involved looking for answers to the three fundamental questions of the **research problem** [5, p. 8]:

1. "What are the characteristics of the student of national security (BN) or internal security (BW)?
2. What is the opinion of the student of BN or BW about studying security and what is the reason for taking up studies?
3. Are the adopted research tools and procedures sufficiently useful to define an optimal research plan and to conduct proper research?"

and the verification of three **research hypotheses** [5, p. 9]:

1. "The students of BN or BW come from various social backgrounds (urban and rural) and are of diverse ages, with a variety of family and professional responsibilities which might affect the quality of studying.
2. The students of BN or BW do not always associate improving their skills with future employment, which could mean that studying security is perceived as a way to obtain a university diploma.
3. The research tool and procedure adopted in the preliminary study might be suboptimal, necessitating adjustments before the main study is launched."

As preliminary studies showed the suitability of the research tool and there was no need to introduce changes in the content of questions in the survey questionnaire, the comparative study focused on verifying the first two questions and research hypotheses and verifying:

– whether and to what extent the characteristics of a student of internal security changed;
– whether and how the opinions and reasons for taking up studies in security-related programmes changed;

Both studies used Statistica software for statistical calculations. Using Pearson's Chi-square test with the significance level $p \leq 0.05$, it was determined which of the studied variables were dependent and which were independent.`

Wybrane wyniki oraz wnioski z badań rekonesansowych i porównawczych Wiek i okres rozpoczynania studiów

Wyniki badań rekonesansowych i porównawczych dotyczące wieku studiujących oraz okresu rozpoczynania studiów (tabela 2) nie odbiegają od wyników, jakie otrzymano by badając jakikolwiek inny kierunek studiów. Najliczniejszą ponad 50% grupę studiujących na kierunkach związanych z bezpieczeństwem stanowią studenci w przedziale wiekowym 21 ÷ 23 lata, a łącznie z grupą 19 ÷ 20-latków, ich procentowy udział wśród studiujących na tych kierunkach w 2017 r. w stosunku do 2015 r. (85,2%) wzrósł o 8,9 punktów procentowych (p.p.).

Jeżeli weźmiemy pod uwagę, że jeszcze wyższy procentowo wzrost zanotowano w zakresie rozpoczynania studiów – w tym samym roku co matura – o 10,1 p.p., to widzimy, że studiujący na kierunkach związanych z bezpieczeństwem nie są osobami przypadkowymi. Aby zatem pozyskać wartościowych absolwentów szkół średnich, uczelnie prowadzące kierunki związane z bezpieczeństwem będą musiały rywalizować o nich nie tylko z innymi uczelniami oferującymi taki kierunek studiów (zwłaszcza w dużych miastach, gdzie kierunki związane z bezpieczeństwem prowadzone są na kilku uczelniach), ale również przedstawiać ofertę atrakcyjnych ze względu na rynek pracy specjalności, aby być konkurencyjnymi dla innych kierunków studiów. W innym wypadku pozostaje zawężenie obszaru rekrutacji do absolwentów szkół średnich, którzy zdali egzamin dojrzałości na bardzo niskim poziomie punktowym i na inne kierunki nie mieliby szans zostać przyjętymi.

Selected results and conclusions from preliminary and comparative studies Age and time of taking up studies

The results of preliminary and comparative studies regarding the age of students and the time of taking up studies (Table 2) do not differ from the results that would be obtained for any other programme. The most numerous group of security-related students (over 50%) were students aged 21 ÷ 23 years and, combined with the group of 19 ÷ 20-year olds, their percentage share in the total number of students of those programmes in 2017 in relation to 2015 (85.2%) increased by 8.9 percentage points (p.p.).

Given the fact that an even higher percentage increase was recorded for taking up studies in the same year as passing the secondary school leaving exam – of 10.1 p.p., we can conclude that students of security-related studies are not random people. To attract valuable secondary-school leavers, higher education institutions providing security-related programmes of study will have to compete for them not only with other higher education institutions offering the same programmes (especially in big cities, where security-related programmes are available at several higher education institutions), but also present a package of attractive specialisations regarding the labour market in this area, to remain competitive in relation to other fields of study. Otherwise, they would have to limit their recruitment to those secondary school leavers who have passed their exams with very low results and would not be admitted to other programmes.

Tabela 2. Przedział wiekowy studiujących i okres rozpoczynania studiów – badania rekonesansowe i porównawcze
Table 2. The age range of students and the period of starting studies – preliminary and comparative research

Badania/Research	Rekonesansowe/Preliminary		Porównawcze/Comparative	
Przedział wiekowy studiujących/Age range of students	Liczba studiujących/ Number of students	Procent/Percent	Liczba studiujących/ Number of students	Procent/Percent
19 ÷ 20 lat/19 ÷ 20 years old	101	28,9	162	39,7
21 ÷ 23 lata/21 ÷ 23 years old	197	56,3	222	54,4
Więcej niż 24 lata/More than 24 years old	52	14,8	24	5,9
(N)	350	100,0	408	100
Rozpoczęcie studiowania/Taking up studies	Liczba studiujących/ Number of students	Procent/Percent	Liczba studiujących/ Number of students	Procent/Percent
W tym samym roku co matura In the same year as the school-leaving exam	228	65.2	307	75,3
Rok po maturze/A year after the school-leaving exam	48	13,7	59	14,4
Dwa lata po maturze/Two years after the school-leaving exam	26	7,4	23	5,6
Inna odpowiedź/Other answer	48	13,7	19	4,7
(N)	350	100,0	408	100

Źródło: Dane za 2015 r. opracowanie na podstawie danych statystycznych [4, s. 19 i 23]. Dane za 2017 r. opracowanie własne.
Source: Data for 2015 based on statistical data [4, pp. 19 and 23]. Data for 2017 own study.

Nie należy również oczekiwać, że pozyska się wystarczającą liczbę absolwentów do prowadzenia kierunku studiów, wśród tych którzy z różnych przyczyn nie podjęli studiów bezpośrednio po maturze. Studiujących, którzy rozpoczęli studia rok lub dwa lata po maturze, było w 2015 r. łącznie 21,1% (w 2017 r. nastąpił

In addition, it should not be expected that a sufficient number of secondary school leavers to run a course would be obtained among those who, for various reasons, did not take up studies immediately after their secondary school leaving exam. In 2015 a total of 21.1% of students began their studies one or two years

spadek o 1,1 p.p.). Zatem, aby uczelnie wypełniły limity przyjęć musiałyby rekrutować ich 5 razy więcej niż obecnie. Można również powiedzieć, że wyczerpują się zasoby osób, które podejmują studia w okresie późniejszym (w wieku ponad 24 lat). W 2017 roku było ich tylko 5,9%, tj. ponad 2,5 razy mniej niż w 2015 r. Znalazło to odzwierciedlenie wśród tej grupy studiujących, którzy w pytaniu o rozpoczynanie studiów udzielili „innej odpowiedzi". Ich procentowy udział w 2017 r. wyniósł jedynie 4,7% i był 2,9 razy mniejszy niż w 2015 r. Może to świadczyć o tym, że kończy się zasób osób, które wybierały kierunki związane z bezpieczeństwem jako studia umożliwiające uzyskanie wyższego wykształcenia, niezbędnego do obejmowania kolejnych stanowisk pracy.

Miejsce zamieszkania/pochodzenia i aktywność zawodowa studiujących na kierunkach związanych z bezpieczeństwem

Zarówno wyniki badań rekonesansowych, jak i porównawczych jednoznacznie wskazują, że naturalnym zapleczem osobowym dla uczelni prowadzących kierunki studiów związane z bezpieczeństwem są absolwenci szkół średnich pochodzący/mieszkający w wioskach (tabela 3). W każdej edycji badań stanowili oni prawie 48% ogółu studiujących.

Organy jednoosobowe i wieloosobowe uczelni oraz osoby przygotowujące i prowadzące rekrutację na studia, nawet jeżeli uczenia jest w dużym mieście, w żadnym przypadku nie powinni zakładać, że uda im się dokonać naboru na I rok studiów, tylko spośród mieszkańców danego miasta. Bez względu na wielkość miasta, w którym mieści się uczelnia, należy zakładać, że chętnych na podjęcie studiów spośród absolwentów szkół średnich będących zarazem mieszkańcami tych miast będzie nie więcej niż 20%. Aby zapewnić funkcjonowanie kierunku studiów związanych z bezpieczeństwem, należy docierać do mieszkańców ościennych miejscowości.

Należy bardzo wyraźnie podkreślić, że badania z 2017 r. potwierdziły, z dokładnością do dziesiątych części procenta, procentowe udziały studiujących pochodzących z różnej wielkości miast oraz wiosek/osad wiejskich. Różnice w uzyskanych wynikach nie przekroczyły 0,9 p.p.

Taki rozkład wyników, a zwłaszcza ograniczone zainteresowanie studiowaniem na kierunkach związanych z bezpieczeństwem młodych ludzi pochodzących z miast, przy kilkukrotnie, czy nawet kilkunastokrotnie większym zainteresowaniu takim kierunkiem studiów mieszkańców wiosek potwierdza, że wciąż aktualne pozostaje hasło: „żywią i bronią". Z drugiej jednak strony wyniki badań nie napawają optymizmem. Świadczą one między innymi o tym, że ewentualna przyszła praca w szeroko rozumianym obszarze odpowiedzialności za bezpieczeństwo nie jest priorytetem absolwenta szkoły średniej mieszkającego w mieście. Nasuwa to także następujące pytania: Czy studiowanie na kierunkach związanych z bezpieczeństwem pozwala beztrosko myśleć o przyszłości przyszłym absolwentom tych kierunków pochodzącym/mieszkającym w wioskach? Czy jest to tylko jedna z form podniesienia ich prestiżu w środowisku, w którym dotychczas żyli, związanego z faktem ukończenia studiów wyższych?

after their school leaving exams (this decreased by 1.1 p.p. in 2017). Therefore, for higher education institutions to fill their lists, they would have to recruit 5 times more candidates than now. It can also be said that there are fewer and fewer people who take up studies at a later time (over 24 years of age). In 2017 they accounted for only 5.9% i.e. 2.5 times less than in 2015. This was reflected in this group of students who responded "other" to the question about taking up studies. Their percentage share in 2017 was only 4.7% and was 2.9 times smaller than in 2015. This could mean that there are fewer and fewer people choosing security-related programmes as studies which enable them to obtain a higher education degree necessary to take up jobs on the labour market.

Place of residence/origin and professional activity of students of security-related programmes

The results of both preliminary and comparative studies clearly indicate that the natural personal capital of higher education institutions offering security-related programmes are secondary school leavers coming from or living in rural areas (Table 3). In both studies they comprised nearly 48% of all students.

The single-person authorities and collective bodies of higher education institutions and the people preparing and conducting the recruitment process, even if the institution is based in a large city, should not assume that they will find enough first-year students only among the residents of their city. Regardless of the size of the city in which a higher education institution is based, it should be assumed that no more than 20% of all candidates among secondary school leavers would also be the residents of those cities. To maintain security-related programmes, higher education institutions must reach the residents of the neighbouring villages and towns.

It should be clearly emphasised that the 2017 study confirmed with one decimal place accuracy, the percentage shares of students coming from various-sized towns and cities and villages/rural settlements. The differences in the obtained results did not exceed 0.9 p.p.

Such a distribution of results and especially the limited interest among young people from cities in security-related programmes paired with a several or even more than a dozen times higher interest in this field among the residents of villages confirms that the slogan "they feed and defend" is still current. On the other hand, the survey results are not a cause for optimism. One of the conclusions is that a potential future job in the broadly understood field of responsibility for security is not a priority for secondary school leavers living in cities. This also brings to mind the following questions: Do security-related studies enable their students coming from villages to look at their future with optimism? Is this only one of the ways to improve their position in their environment by graduating from a higher education institution?

Tabela 3. Miejsce zamieszkanie/pochodzenie studenta oraz aktywność zawodowa
Table 3. Place of residence/origin of the student and professional activity

Badania/Research	Rekonesansowe/Preliminary		Porównawcze/Comparative	
Zamieszkanie/Pochodzenie Residence/origin	Liczba studiujących/ Number of students	Procent/Percent	Liczba studiujących/ Number of students	Procent/Percent
Miasto > 200 tys. mieszkańców/City > 200 thousand inhabitants	21	6,0	22	5,4
Miasto < 200 tys. mieszkańców/Town < 200 thousand inhabitants	67	19,2	82	20,1
Miasto < 50 tys. mieszkańców/Town < 50 thousand inhabitants	50	14,3	56	13,7
Miasto < 15 tys. mieszkańców/Town < 15 thousand inhabitants	46	13,1	52	12,8
Wieś/osada wiejska/Village/rural settlement	166	47,4	196	48,0
(N)	350	100,0	408	100,0
Aktywność zawodowa – poza studiowaniem/Professional activity beyond studies				
Pracuję/I work	207	59,2	186	45,6
Nie pracuję, z powodu studiów dziennych/I don't work because of my full-time studies	97	27,7	190	46,6
Nie pracuję, nie mogę znaleźć pracy/I don't work, I can't find a job	28	8.0	11	2.7
Inna odpowiedź/Other answer	18	5,1	21	5,1
(N)	350	100,0	408	100,0

Źródło: Dane za 2015 r. opracowanie na podstawie danych statystycznych [4, s. 24 i 25]. Dane za 2017 r. opracowanie własne.
Source: Data for 2015 based on statistical data [4, pp. 24 and 25]. Data for 2017 own study.

Odpowiedzi na tak postawione pytania mogą dać badania biur karier i śledzenie losów absolwentów kierunków związanych z bezpieczeństwem.

Z doświadczenia autora wynikającego z wieloletniej pracy w różnych podmiotach odpowiedzialnych za bezpieczeństwo wynika, że możliwości podejmowania pracy przez absolwentów kierunków związanych z bezpieczeństwem, w znacznym stopniu zależą nie tylko od ich wiedzy i umiejętności, ale od struktur poszczególnych komórek i jednostek organizacyjnych. Ostatnie lata pokazały, że uległo likwidacji wiele stanowisk pracy związanych z wykonywaniem zadań obronnych na wszystkich szczeblach podziału administracyjnego państwa oraz na szczeblu ministerialnym. Zlikwidowano departamenty, biura, wydziały, które merytorycznie odpowiadały za realizację ustawowych zadań w tym zakresie. Ustawa o zarządzaniu kryzysowym określiła system i mechanizmy działania systemu bezpieczeństwa, wskazała podmioty, jakie powinny funkcjonować na każdym jego szczeblu, ale nie wskazała minimalnych wymogów strukturalnych tych podmiotów. Wskutek tego w wielu centralnych instytucjach zadania obronne, zarządzania kryzysowego, czy też obrony cywilnej realizuje jedna lub dwie osoby (nie zawsze na pełnych etatach). Zdarza się też, że zadania te są im powierzane jako dodatkowe obowiązki. Osoby te włączane są w struktury różnych biur, których odpowiedzialność merytoryczna w żaden sposób nie odnosi się do zadań związanych z zapewnianiem bezpieczeństwa. Nagminne jest włączanie zadań szeroko rozumianego bezpieczeństwa do zadań dodatkowych pionu ochrony informacji niejawnych. Świadczy to niestety o kompletnym niezrozumieniu przez kierownictwo poszczególnych instytucji wagi tych zadań, a przecież na każdym szczeblu podziału administracyjnego państwa zadania zapewniania bezpieczeństwa należą do władzy administracyjnej i są ich zadaniami własnymi.

Przy tak tworzonym systemie stanowisk pracy związanych z zapewnianiem bezpieczeństwa osób, mienia i środowiska, wykonywania zadań obronnych oraz zarządzania kryzysowego, to od przygotowania najniższego szczebla systemu w dużej mierze

Responses to such questions may be provided by studying career offices and tracking the career paths of graduates of security-related programmes.

The author's long-standing experience in working at various bodies responsible for security demonstrated that the ability to find jobs by graduates of security-related studies largely depends not only on their knowledge and skills, but also on the structures of individual entities and organisational units. In recent years a large number of jobs connected with defence have been cut at all stages of the state's administrative division as well as at the ministerial level. Numerous departments, offices and divisions which were responsible for implementing statutory tasks in this field have been shut down. The Crisis Management Act defined the system and operational mechanisms of the security system, indicating the bodies that should operate at each level, but did not indicate the minimum structural requirements for such organs. As a result, in many central institutions, only one or two individuals are responsible for tasks related to defence, crisis management and civil defence (not always full-time). Sometimes these are only their additional responsibilities. Such individuals are part of the structure of various departments which are responsible for other fields and are completely unrelated to security. It is often the case that broadly understood security tasks are an additional responsibility of departments dealing with the protection of classified information. Unfortunately, this demonstrates a complete lack of understanding on the part of the management of those institutions of the importance of such tasks. After all, at every level of the state's administrative division, security tasks are entrusted to administrative authorities and are, in fact, part of their own tasks.

With such a system of jobs related to ensuring the security of people, property and the environment, and performing defence and crisis management tasks, it is the qualifications of the lowest levels of the system that largely determine the

zależy jego skuteczność działania. Potwierdza to także generalna zasada reagowania na zdarzenia zagrażające ludziom, mieniu i środowisku, że rozpoczyna działanie ten podmiot, który pierwszy uzyskał informację o zdarzeniu. Zatem minimalizowanie struktur odpowiedzialnych za zapewnianie bezpieczeństwa na najniższych szczeblach, przy nieadekwatności posiadanych sił i środków na kolejnych poziomach systemu, jest co najmniej nieroztropnością organów władzy samorządowej i rządowej. Jednocześnie przekłada się to na ograniczone możliwości podejmowania pracy przez absolwentów kierunków związanych z bezpieczeństwem w miejscach swojego zamieszkania lub w najbliżej okolicy. Możliwość podjęcia pracy we własnym środowisku ma tę zaletę, że absolwent zna nie tylko okolicę, w której dorastał, ale często przeżył wiele sytuacji kryzysowych związanych z zagrożeniami naturalnymi. Zdaje sobie sprawę z ich zasięgu, oddziaływania na poszczególne rodzaje zabudowy, zna mieszkańców, zatem ułatwia mu to i skraca czas niezbędny do oceny sytuacji i podjęcia skutecznych działań mających na celu maksymalne ograniczenie zagrożenia lub eliminowanie skutków zdarzeń.

Znaczna część studiujących na kierunkach związanych z bezpieczeństwem, już na etapie studiów podejmuje działania zarobkowe. Nie zawsze są to prace w obszarach związanych z kierunkiem studiów, ale pozwalają im one zdobywać doświadczenie i umiejętności pracy zarówno samodzielnej, jak i zespołowej. W 2015 r. studiujący w trybie niestacjonarnym stanowili 51,4% ogółu badanych, w czasie studiów pracowało o 9,8 p.p. więcej studiujących. Jednocześnie 8% nie pracowało z powodu trudności ze znalezieniem pracy. W 2017 r. wskaźniki te uległy bardzo istotnej zmianie. Przy 23,8% studiujących w trybie niestacjonarnym, pracowało 45,6% studiujących, a trudności ze znalezieniem pracy wskazało procentowo 2,96 razy mniej ankietowanych.

Przyczyna podjęcia studiów na kierunkach związanych z bezpieczeństwem

Podejmowanie decyzji o kierunku studiów wiąże się z przemyśleniami o przyszłej pracy potencjalnego studenta oraz wizją jego dorosłego życia. Młodzi ludzie często w bardzo ograniczonym stopniu biorą pod uwagę rzeczywiste możliwości jej podjęcia i bezkrytycznie podchodzą do swojego procesu studiowania. Zapominają, że dyplom uczelni wyższej nie przekłada się automatycznie na zapewnienie absolwentowi miejsca pracy zgodnego z kierunkiem ukończonych studiów.

Przykładowe porównanie wyników badań dotyczących przyczyny podjęcia studiów na kierunkach związanych z bezpieczeństwem w zależności od płci studiującego przedstawiają tabele 4.A. i 4.B.

Badania rekonesansowe i porównawcze niezmiennie wskazują, że ogółem ponad 83% studiujących na kierunkach związanych z bezpieczeństwem zakłada, że po zakończeniu studiów podejmie próbę podjęcia pracy bądź w służbach mundurowych, bądź w administracji publicznej na stanowiskach związanych z bezpieczeństwem (w 2015 r. 83,15%, w 2017 r. 83,82%).

W 2015 r. ponad 66% ogółu badanych studiujących wyrażało chęć pracy w służbach mundurowych, z tego ponad połowę

effectiveness of the whole structure. This is confirmed by the general rule of responding to events posing a threat to people, property and the environment, which states that the first unit to receive information about the event is the first to act. Therefore, reducing the structures responsible for security at the lowest levels, paired with the inadequacy of the available personnel and resources at higher levels, is at least an imprudence on the part of local and central authorities. This is reflected in reduced job opportunities for graduates of security-related programmes near their place of residence. The ability to take up work locally is advantageous, as the graduate not only knows the area in which he or she grew up, but might have also experienced a number of crisis events related to natural disasters occurring locally The graduate is aware of their area of influence and impact on specific types of buildings and structures and knows the residents, which facilitates and reduces time needed for assessing the situation and taking effective action aimed at mitigating danger or eliminating the results of incidents.

A large part of students of security-related programmes take up gainful employment during their studies. This employment is not always related to the field of study, but it allows students to gain experience and skills in working on their own and as part of teams. In 2015 part-time students comprised 51.4% of all respondents and 9.8 p.p. more respondents had jobs during their studies. At the same time, 8% did not work as they experienced difficulties finding a job. In 2017 these indicators changed significantly. Of 23.8% part-time students, 45.6% had jobs and 2.96 times fewer respondents said they experienced difficulties finding one.

The reason for taking up security-related studies

Choosing the field of study is related to thinking about a potential future job and one's outlook on adult life. Young people often pay very limited attention to the actual career prospects and lack a critical approach to the course of their studies. They tend to forget that a diploma of a higher education institution does not automatically pave the way to finding a job compatible with one's field of study.

Tables 4.A and 4.B show an example comparison of results concerning the reason for taking up security-related studies depending on the student's gender.

Preliminary and comparative studies invariably indicate that over 83% of students of security-related programmes assume that after graduation they will attempt to take up work in uniformed services or public administration in positions related to security (83.15% in 2015 and 83.82% in 2017).

In 2015 over 66% of all respondents expressed their plans to work in the uniformed services, of which more than half were women (4.57 p.p. more than men). If we consider only female students, then over 63% of them indicated their plans to find a job compatible with their field of study in the "uniformed services".

stanowiły kobiety i było ich o 4,57 p.p. więcej niż mężczyzn. Jeżeli weźmiemy pod uwagę jedynie studiujące kobiety, to ponad 63% z nich wskazywało chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „służbach mundurowych".

Jednocześnie było ich o 46,95 p.p. więcej niż wskazujących chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „administracji publicznej", a zarazem o 42,86 p.p. więcej niż razem wziętych studentek, które jako główną przyczynę podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem, wskazały chęć zdobycia kwalifikacji z zakresu bezpieczeństwa „bez związku z pracą" bądź wybrały „inną przyczynę" podjęcia studiów na tym kierunku.

This group was also 46.95 p.p. more numerous than the group of female students who declared their plans to find a job compatible with their field of study in "public administration," and 42.86 p.p. more numerous than all female students who indicated that they wanted to obtain qualifications in the field of security without any relation to work or chose another reason for taking up studies.

Tabela 4.A. Główna przyczyna podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem – w zależności od płci studiującego – 2015 r.
Table 4.A. The main reason for taking up studies in a field related to security – depending on the gender of the student – year 2015

Główna przyczyna podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem/The main reason for taking up studies in a field related to security	Student/Male student		Studentka/Female student		Razem/Total	
	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/Stratum weight [in %]	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/Stratum weight [In %]	Liczba badanych/Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/Stratum weight [in %]
chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów – w „służbach mundurowych"/intention to work in accordance with the field of study – in "uniformed services"	108	70,13	124	63,27	232	66,29
chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów – w administracji publicznej/intention to find a job compatible with the field of study – in public administration	27	17,53	32	16,32	59	16,86
chęć zdobycia kwalifikacji z zakresu bezpieczeństwa – bez związku z pracą/willingness to gain qualifications in the field of security – not related to work	14	9,09	28	14,29	42	12,00
Inna przyczyna/Other reason	5	3,25	12	6,12	17	4,86
Razem/Total	154	100,00	196	100,00	350	100,00
Analiza statystyczna/Statistical analysis	Chi-kwadrat Pearsona: 2.433245; df (stopnie swobody) = 3; p = 0,487476 Pearson's Chi square: 2.433245; df (degrees of freedom) = 3; p = 0.487476					

Źródło: Opracowanie na podstawie danych statystycznych [3, s. 28].
Source: Study based on statistical data [3, p. 28].

Tabela 4.B. Główna przyczyna podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem – w zależności od płci studiującego – 2017 r.
Table 4.B. The main reason for taking up studies in a field related to security – depending on the gender of the student – year 2017

Główna przyczyna podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem/The main reason for taking up studies in a field related to security	Student/Male student		Studentka/Female student		Razem/Total	
	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]
chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów – w „służbach mundurowych"/ intention to work in accordance with the field of study – in "uniformed services"	129	61.72	134	67.34	263	64.46
chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów – w administracji publicznej/ intention to find a job compatible with the field of study – in public administration	37	17.70	42	21.11	79	19.36
chęć zdobycia kwalifikacji z zakresu bezpieczeństwa – bez związku z pracą/ intention to gain qualifications in the field of security – not related to work	24	11.48	18	9.05	42	10.29
Inna przyczyna/Other reason	19	9.09	5	2.51	24	5.88
Razem/Total	209	100.00	199	100.00	408	100.00
Analiza statystyczna/Statistical analysis	Chi-kwadrat Pearsona: 9,195748; df (stopnie swobody) = 3; p = 0,0268 Pearson's Chi square: 9.195748; df (degrees of freedom) = 3; p = 0.0268					

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

ISSN 1895-8443

Wyniki badań studentów wskazywały taki sam trend jak wśród studentek. Ponad 70% z nich uznało chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „służbach mundurowych" jako główną przyczynę podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem. Jednocześnie było ich o 52,6 p.p. więcej zainteresowanych po studiach pracą w „administracji publicznej", a zarazem o 57,79 p.p. więcej niż razem wziętych studentów, którzy na pytanie dotyczące głównej przyczyny podjęci studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem, odpowiedzieli, że chcieli zdobyć kwalifikacje z zakresu bezpieczeństwa „bez związku z pracą" lub wybrali opcję „inna przyczyna".

Jednocześnie należy podkreślić, że procentowo studentów było więcej niż studentek, zarówno wśród chcących podjąć pracę zarówno w „służbach mundurowych", jak i w „administracji publicznej". Studentki przeważały nad studentami w grupach wskazujących jako główną przyczynę podjęcia studiów chęć zdobycia kwalifikacji z zakresu bezpieczeństwa „bez związku z pracą" (o 5,2 p.p.) oraz wśród wybierających „inną przyczynę" podjęcia studiów (o 2,87 p.p.).

W 2017 r. wyniki zmieniły się nieznacznie – o 1,83 p.p. zmniejszył się ogółem procentowy udział zainteresowanych podjęciem pracy w służbach mundurowych. Procentowo również przeważały kobiety i było ich ogółem o 1,22 p.p. więcej niż mężczyzn. W grupie badanych studentek było ich procentowo 3,2 razy więcej niż wskazujących chęć podjęcia pracy zgodnej z kierunkiem studiów w „administracji publicznej", a zarazem 5,53 razy więcej niż łącznie studentek, które przy wyborze kierunku studiów kierowały się chęcią zdobycia kwalifikacji „bez związku z pracą" i wybierających „inną przyczynę" studiowania.

W 2017 r. w grupie badanych studentów w stosunku do 2015 r. nastąpił spadek o 8,41 p.p. zainteresowanych chęcią podjęcia pracy w „służbach mundurowych". Pomimo tego wskazujących chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „służbach mundurowych" jako główną przyczynę podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem było procentowo 3,49 razy więcej niż wskazujących chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „administracji publicznej", a zarazem 3 razy więcej niż łącznie studentów, którzy przy wyborze kierunku studiów, kierowali się chęcią zdobycia kwalifikacji „bez związku z pracą" i wybierających „inną przyczynę" studiowania.

Podobne zainteresowanie przeszłą pracą w sferze budżetowej (w służbach mundurowych, bądź w administracji na stanowiskach związanych z bezpieczeństwem) wyrażało w:

- 2015 r. – 87,66% studiujących w trybie stacjonarnym i 79,59% studiujących w trybie niestacjonarnym;
- 2017 r. – odpowiednio 85,21% i 79,38% studiujących.

Przykładowe zestawienie wyników uzyskanych w badaniach rekonesansowych w 2015 i porównawczych w 2017 r. zakresie wskazania głównej przyczyny podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem w zależności od trybu studiowania przedstawiają tabele 5.A. i 5.B.

Studies among male students showed the same trend as those among female students. More than 70% declared their willingness to find a job compatible with their field of study in the "uniformed services" as the main reason for studying a security-related programme. This group was also 52.6 p.p. more numerous than the group of male students who declared their plans to find a job in "public administration," and 57.79 p.p. more numerous than all male students who indicated that they wanted to obtain qualifications in the field of security "unrelated to work" or chose "another reason" for taking up studies.

At the same time, it should be emphasised that the percentage of male students was higher than that of female students, both among those who planned a job in "uniformed services" and among those who intended to work in "public administration" More female students than male students indicated the intention to obtain qualifications in the field of security "unrelated to work" (by 5.2 p.p.) and chose "other reason" of taking up studies (by 2.87 p.p.).

In 2017 the results changed only slightly – the total percentage share of students interested in taking up work in the uniformed services dropped by 1.83 p.p. The percentage share of women was also higher and there were 1.22 p.p. more of them than men. In the group of female respondents, a 3.2 times higher percentage declared their intention to find a job compatible with their field of study in "public administration" and also 5.53 times higher than the total percentage of female students who wanted to obtain qualifications "unrelated to work" and chose "other reason" of taking up studies.

In 2017 the there was an 8.41 p.p. decrease in the number of people interested in finding a job in "uniformed services" in relation to 2015. Despite this, the percentage of respondents who indicated their intention to find a job compatible with their field of study in "uniformed services" as the main reason for taking up studies in a security-related field was 3.49 times higher than those who indicated their intention to find a job compatible with their field of study in "public administration" and 3 times more than the total percentage of students who wanted to obtain qualifications "unrelated to work" and chose "another reason" of taking up studies.

A similar interest in future work in the public sector (in uniformed services and administration at positions connected with security) was expressed in

- 2015 – by 87.66% full-time students and 79.59% of part-time students;
- 2017 – by 85.21% and 79.38% of students, respectively.

Tables 5.A and 5.B show an example comparison of results obtained in preliminary studies in 2015 and in comparative studies in 2017 in terms of indicating the main reason for taking up studies in a security-related field depending on the mode of study.

Tabela 5.A. Główna przyczyna podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem – w zależności w zależności od trybu studiowania – 2015 r.
Table 5.A. The main reason for taking up studies in a field related to security – depending on the study mode – year 2015

Główna przyczyna podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem/ The main reason for taking up studies in a field related to security	Stacjonarne Full-time study		Niestacjonarne/Part-time study		Razem Total	
	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]	Liczba badanych/Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]
chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów – w „służbach mundurowych"/intention to work in accordance with the field of study – in "uniformed services"	117	75.97	115	58.67	232	66.29
chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów – w administracji publicznej/intention to find a job compatible with the field of study – in public administration	18	11.69	41	20.92	59	16.86
chęć zdobycia kwalifikacji z zakresu bezpieczeństwa – bez związku z pracą/intention to gain qualifications in the field of security – unrelated to work	12	7.79	30	15.31	42	12.00
Inna przyczyna/Other reason	7	4.55	10	5.10	17	4.86
Razem/Total	154	100.00	196	100.00	350	100.00
Analiza statystyczna/Statistical analysis	Chi-kwadrat Pearsona: 7,312082; df (stopnie swobody) = 3; p = 0,062599 Pearson's Chi square: 7.312082; df (degrees of freedom) = 3; p = 0.062599					

Źródło: Opracowanie na podstawie danych statystycznych [3, s. 29].
Source: Study based on statistical data [3, p. 29].

Wyniki badań rekonesansowych wykazały, że jedynie $^1/_4$ studiujących w trybie stacjonarnym nie wyrażała chęci podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „służbach mundurowych". W badaniach porównawczych było to już ponad $^1/_3$ studiujących w trybie stacjonarnym. Wśród studiujących w trybie niestacjonarnym w 2015 r. ponad $^2/_5$ studiujących nie łączyło studiowania na kierunkach związanych z bezpieczeństwem z chęcią podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „służbach mundurowych". Badania porównawcze w 2017 r. wykazały, że procentowo zmniejsza się grupa tak odpowiadających. Było ich bowiem nieco ponad $^1/_3$ ogółu badanych.

The preliminary study results demonstrated that only $^1/_4$ full-time students were not willing to take up work compatible with their field of study in "uniformed services." In the comparative study, this proportion increased to more than $^1/_3$. In 2015 over $^2/_5$ part-time students did not think of the pursued security-related programme in the context of finding a job compatible with their field of study in "uniformed services." The comparative study performed in 2017 demonstrated that this group of respondents is decreasing in percentage. They accounted for slightly more than $^1/_3$ of all respondents.

Tabela 5.B. Określenie głównej przyczyny podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem – w zależności w zależności od trybu studiowania – 2017 r.
Table 5.B. Determination of the main reason for taking up studies in a field related to security – depending on the study mode – year 2017

Główna przyczyna podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem/ The main reason for taking up studies in a field related to security	Stacjonarne/Full-time study		Niestacjonarne/Part-time study		Razem/Total	
	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]	Liczba badanych/ Number of respondents	Wskaźnik struktury [w %]/ Stratum weight [in %]
chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów – w „służbach mundurowych"/intention to work in accordance with the field of study – in "uniformed services"	117	75,97	115	58,67	232	66,29
chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów – w administracji publicznej/intention to find a job compatible with the field of study – in public administration	18	11,69	41	20,92	59	16,86
chęć zdobycia kwalifikacji z zakresu bezpieczeństwa – bez związku z pracą/intention to gain qualifications in the field of security – unrelated to work	12	7,79	30	15,31	42	12,00
Inna przyczyna/Other reason	7	4.55	10	5,10	17	4,86
Razem/Total	154	100,00	196	100,00	350	100,00
Analiza statystyczna/Statistical analysis	Chi-kwadrat Pearsona: 7,312082; df (stopnie swobody) = 3; p = 0,062599 Pearson's Chi square: 7.312082; df (degrees of freedom) = 3; p = 0.062599					

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Jednocześnie podkreślić należy, że badania porównawcze w stosunku do badań rekonesansowych wykazały wśród studiujących w trybie stacjonarnym wzrost zainteresowania pracą zgodną z kierunkiem studiów w „administracji publicznej" o 9,53 p.p. do poziomu 21,22%. W ciągu trzech lat nastąpił więc 81,5% wzrost odpowiadających w ten sposób na pytanie o główną przyczynę podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem.

Wśród studiujących w trybie niestacjonarnym nastąpił spadek o 7,52 p.p. uznających za główną przyczynę podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „administracji publicznej". W ciągu trzech lat nastąpił 36% spadek udzielających takiej odpowiedzi. Jednocześnie procentowo studiujących w trybie niestacjonarnym, którzy wykazywali chęć podjęcia pracy zgodnej z kierunkiem studiów w „administracji publicznej, było o 1,03 p.p. mniej niż tych, którzy kierowali się chęcią zdobycia kwalifikacji „bez związku z pracą".

Zarówno w 2015 r., jak i w 2017 r. utrzymywał się niski wskaźnik tych, którzy w odpowiedzi na pytanie o główną przyczynę podjęcia studiów na kierunku związanym z bezpieczeństwem wybrali opcję „inna przyczyna". W 2015 roku było to ok. 5% badanych w obu trybach studiów. Studiujących w trybie niestacjonarnym, którzy udzielili takiej odpowiedzi, było o 0,55 p.p. więcej niż studiujących w trybie stacjonarnym. W 2017 r. w obu trybach było to ok. 6% badanych. Studiujących w trybie niestacjonarnym było o 0,4 p.p. więcej niż studiujących w trybie stacjonarnym.

Podkreślić należy, że w 2017 r. w stosunku do 2015 r. zmieniły się, w zależności od trybu studiowania, procentowe udziały w zakresie głównej przyczyny podejmowania studiów. W 2017 r. studiujących w trybie niestacjonarnym, którzy wskazywali chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „służbach mundurowych", było procentowo więcej niż studiujących w trybie stacjonarnym o 1,99 p.p. W 2015 r. przeważali o 17,3 p.p. studiujący trybie stacjonarnym. Odwrotnie było wśród uznających za główną przyczynę podjęcia studiów chęć podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem studiów w „administracji publicznej". W 2015 r. studiujących w trybie stacjonarnym, którzy wybrali taką odpowiedź było o 9,23 p.p. mniej niż wśród studiujących w trybie niestacjonarnym. W 2017 r. natomiast studiujących w trybie stacjonarnym, którzy udzielili takiej odpowiedzi było o 7,82 p.p. więcej niż wśród studiujących w trybie niestacjonarnym.

Czas przeznaczany na naukę dziennie przez studiujących na kierunkach związanych z bezpieczeństwem

Z punktu widzenia potencjalnych pracodawców istotne są informacje dotyczące, wiedzy, kompetencji i umiejętności, jakich nabywa studiujący na kierunkach związanych z bezpieczeństwem. Pewnym miernikiem rzetelności podejścia do studiowania i oceny, czy absolwent, jest dobrym kandydatem do pracy i posiada rzeczywistą oraz ugruntowaną wiedzę jest czas przeznaczany dziennie przez studiujących na naukę samodzielną . Zmienną tę badano w zależności od: płci studiujących, roku studiów, trybu

It should also be emphasised that there was an increase in interest among full-time students in finding a job compatible with their field of study in "public administration" from 9.53 p.p. in preliminary studies to 21.22% in comparative studies. This means that over a span of three years there was an 81.5% increase in respondents who provided this answer to the question about the main reason of taking up security-related studies.

Among part-time students, there was a 7.52 p.p. decrease in respondents who indicated their intention to find a job compatible with their field of study in "public administration" as the main reason of taking up security-related studies. The number of respondents providing this answer decreased by 36% after three years. At the same time, the percentage of part-time students who indicated their intention to find a job compatible with their field of study in "public administration" was 1.03 p.p. lower than of those who wanted to obtain qualifications "unrelated to work."

Both in 2015 and in 2017 there was a low percentage of those who indicated "other reason" as the main reason for taking up studies in a security-related field. In 2015 it was about 5% of respondents in both modes of study. This answer was given by 0.55 p.p. more part-time students than full-time students. In 2017 for both modes of study this percentage amounted to about 6% of respondents. This answer was given by 0.4 p.p. more part-time students than full-time students.

It should be stressed that in 2017, in relation to 2015, there were changes in the percentage shares of responses to the question about the main reason of taking up studies, depending on the mode of study. In 2017 the percentage of respondents who indicated their intention to find a job compatible with their field of study in "uniformed services" was 1.99 p.p. higher among part-time students than among full-time students. In 2015 there were 17.3 p.p. more full-time students who gave this response. The opposite was true for respondents who indicated the intention to find a job compatible with their field of study in "public administration" as the main reason of taking up studies. In 2015 there were 9.23 p.p. fewer full-time students who gave this response than part-time students. In 2017 this answer was given by 7.82 p.p. more full-time students than part-time students.

Daily time spent on self-study by students of security-related programmes

Potential employers are interested in information regarding the knowledge, competences and skills acquired by students in security-related programmes. A certain measure of a student's reliability in terms of approach to studying, and a way of assessing whether the graduate is a good candidate and has actual and well-established knowledge, is the time spent daily on self-study. This variable was studied as divided by gender, year of study, mode of study, age, marital status, number of children, programme and employment. Table 6 shows

studiowania, wieku studiującego, stanu cywilnego, liczby posiadanych dzieci, kierunku studiów, zatrudnienia studiującego. Zestawienie odpowiedzi ogółem w zakresie czasu przeznaczanego przez studiujących na naukę własną dziennie przedstawia tabela 6.

a comparison of the answers regarding the daily time spent by students on self-study.

Tabela 6. Czas przeznaczany na naukę własną dziennie – badania rekonesansowe i porównawcze – liczba odpowiedzi
Table 6. Daily time spent on self-study – preliminary and comparative studies – number of answers

Czas przeznaczany na naukę własną – dziennie/ Time spent on self-study – daily	Liczba odpowiedzi (i procent)/Number of answers (and percent)	
	2015 r./Year 2015	2017 r./Year 2017
Ponad 4 godz./More than 4 hours	10 (2,86%)	12 (2,94%)
Ponad 2 godz./More than 2 hours	49 (14,00%)	53 (12,99)
Do 2 godz./Up to two hours	170 (48,57)	229 (56,13%)
Inny wymiar czasu/None of the above	121 (34,57)	114 (27,94%)
N	350 (100%)	408 (100%)

Źródło: Dane za 2015 r. opracowanie na podstawie danych statystycznych [3, s. 61]. Dane za 2017 r. opracowanie własne.
Source: Data for 2015, study based on statistical data [3, p. 61]. Data for 2017 own elaboration.

Uzyskane w obu edycjach badań wyniki nie napawają zbytnim optymizmem. Mniej niż 3% ogółu badanych przeznacza na naukę własną dziennie ponad 4 godziny, a co 7 badany uczy się ponad 2 godziny dziennie. Niepokojący jest fakt, że w 2015 r. prawie co trzeci, a w 2017 r. prawie co czwarty badany, wybrał opcję „inny wymiar czasu". Przy kategorii „do dwóch godzin", którą w 2015 r. wybrał prawie do drugi studiujący, a w 2017 r. wskaźnik ten zwiększył się do 56,13%, oznacza to, że ok. 30% studiujących całkowicie lekceważy codzienną naukę i nie uczy się wcale.

Analiza wyników badań czasu przeznaczanego na naukę w zależności od roku studiów wskazuje, że w badaniach rekonesansowych na II roku studiów nie było ani jednej osoby, która przeznaczałaby na naukę własną ponad 4 godziny dziennie. Na I roku studiów było 5,51% takich studentów, a na III roku 2,03%. Ponad 2 godziny dziennie na naukę własną przeznaczało najwięcej studiujących na I roku studiów - 15,75% i było ich o 1,08 p.p. więcej niż studiujących na II roku oraz o 3,59 p.p. więcej niż studiujących na III roku. Najliczniejszą procentowo grupę stanowili przeznaczający na naukę własną do dwóch godzin dziennie. Najwięcej ich było na II roku studiów 56% i było ich o 7,18 p.p. więcej niż na I roku i o 11,41 p.p. więcej niż na III roku.

Badania rekonesansowe wskazały niepokojący fakt, że 34,57% studiujących wybrało „inną odpowiedź" – zatem nie mieścili się w kategorii przeznaczających na naukę własną do dwóch godzin. Najwięcej ich było na III roku studiów – 41,22%. Na I i II roku odsetek tak odpowiadających wynosił ponad 29%.

Badania porównawcze potwierdziły negatywne statystyki dotyczące studiujących:

- którzy wybrali opcję „inną odpowiedź" – ponad 27% ogółu studiujących nie przeznacza na naukę nawet dwóch godzin dziennie;
- na II roku studiów – ponownie okazało się, że studenci II rocznika przeznaczają najmniej czasu na naukę własną dziennie, aczkolwiek ok. 3% z nich przeznaczało na naukę własną ponad 4 godziny dziennie. Na I roku odsetek tak odpowiadających zmniejszył się prawie dwukrotnie i wyniósł jedynie 2,83%. Na III roku studiów procentowy udział studiujących, którzy przeznaczali na naukę własną

The results of both studies are far from optimistic. Less than 3% of all respondents spend more than 4 hours on self-study and only one in seven studies more than 2 hours a day. It is disturbing that in 2015 nearly one in three and in 2017 nearly one in four respondents chose the answer "none of the above". With the category "up to two hours," which in 2015 was chosen by nearly a half of all respondents and in 2017 by 56.13% it means that about 30% of students completely ignore the need for daily self-study and choose not to study at all.

An analysis of the responses on self-study time by year of study shows that in the preliminary study there were no second-year students who said they spent over 4 hours a day on self-study. This was only 5.51% for first-year students and 2.03% for third-year students. Among the students who spent more than 2 hours a day on self-study, the most numerous group were first-year students – 15.75% (1.08 p.p. more than second-year students and 3.59 p.p. more than third-year students). The largest percentage of respondents spent up to two hours on daily self-study. Here, the most numerous group were second-year students – 56% (7.18 p.p. more than first-year students and 11.41 p.p. more than third-year students).

Preliminary studies demonstrated the disturbing fact that 34.57% of students chose "other answer," which meant that they did not fit in the category of spending up to two hours on self-study. The highest percentage was among third-year students – 41.22%. For first- and second-year students it was over 29%.

Comparative studies confirmed the poor statistics in this respect among students who:

- chose "other answer" – over 27% of all students did not spend as little as two hours a day on self-study;
- the results among second-year students once again demonstrated that they spend the smallest amount of time on daily self-study, although 3% spent more than 4 hours a day. Among first-year students the percentage of respondents providing this answer decreased almost twofold to only 2.83%. Among third-year students the percentage of students who spent over 4 hours a day on self-study increased to 3.66%. Clearly, it is

ponad 4 godziny dziennie zwiększył się do 3,66%. Trudno zatem o jakiekolwiek pozytywne wnioski w tej sprawie.

Podobnie jak w 2015 r. również w 2017 r. największą grupę na wszystkich rocznikach studiów stanowili studiujący, którzy przeznaczali na naukę własną do dwóch godzin dziennie. Ogółem było ich 56,13%, w stosunku do badań rekonesansowych jest to o 7,56% więcej. W grupie tej dominowali studiujący III rocznika 57,32%. Na II roku było ich 54,35%, a na I roku 56,6%.

Zmniejszył się natomiast ogółem procentowy udział studiujących przeznaczających na naukę ponad 2 godziny dziennie z 14% do 12,99%. W poszczególnych rocznikach było to: I rok – 14,55%, II rok – 15,94%, III rok – 9,76%.

Przeznaczanie na naukę własną tak małej liczby godzin może świadczyć o bardzo niepokojącym zjawisku, głębokiej „pauperyzacji" studiowania na kierunkach związanych z bezpieczeństwem.

difficult to draw any positive conclusions from these results.

As in 2015, in 2017 the largest group in all years of study comprised those students who spent up to two hours a day on self-study. The total number of such respondents was 56.13%, which was 7.56% more than in the preliminary study. This group was dominated by third-year students (57.32%). This percentage was 54.35% among second-year students and 56.6% among first-year students.

Also, the total percentage of students spending more than 2 hours a day on self-study decreased from 14% to 12.99%. For respective years of study this amounted to: Year 1 – 14.55%, Year 2 – 15.94%, Year 3 – 9.76%.

Spending so little time on self-study might be a sign of a highly disturbing phenomenon – the advanced "pauperisation" of studying security-related fields.

Wnioski

W artykule przedstawiono szczegółowe wnioski odnoszące się do poszczególnych wyników badań rekonesansowych i porównawczych. Warto także zwrócić uwagę na szerszy aspekt prezentowanych analiz i wpływ uzyskanych wyników na przygotowanie społeczeństwa na negatywne zdarzenia, a także na skuteczność realizacji zadań przez instytucje odpowiedzialne za zapewnianie bezpieczeństwa, które poszukują pracowników wśród absolwentów kierunków związanych z bezpieczeństwem.

Przytoczone odpowiedzi na sześć z dwudziestu pięciu pytań ankietowych zadanych studentom wykazały, że istnieje potrzeba prowadzenia analiz w zakresie poznawania motywacji podejmowania studiów na kierunkach związanych z bezpieczeństwem. Pozwalają one uczelniom na rozszerzanie wiedzy o potencjalnym kandydacie na studia, a pracodawcom dają informację, z jakim absolwentem będą mieli oni do czynienia.

Chociaż w zdecydowanej większości studiujący kierowali się przy wyborze studiów chęcią podjęcia pracy zgodnie z kierunkiem (w służbach mundurowych lub w administracji publicznej na stanowiskach związanych z bezpieczeństwem), to pojawia się wątpliwość, czy z uwagi na czas poświęcany przez nich na naukę własną, potencjalny pracodawca otrzyma dobrze przygotowanego kandydata do pracy.

Jeżeli ten istotny w procesie zapewniania bezpieczeństwa czynnik ludzki nie będzie najmocniejszym ogniwem i będzie zawodził, to bez względu na szczebel systemu, w którym będzie on wykonywał swoje zadania, nie będziemy mogli powiedzieć, że tworzy on wartość dodaną i jest gwarantem skutecznego funkcjonowania mechanizmów i systemów bezpieczeństwa państwa i obywateli.

Uzyskane w zakresie przeznaczania na naukę własną czasu odpowiedzi i wyniki badań skłaniają do zadania kilka pytań: Jak można ukończyć studia, przeznaczając na naukę minimalne ilości czasu lub nie ucząc się wcale? Czy istnieje grupa wykładowców, którzy zaliczają poszczególne przedmioty, nawet jeśli student nie posiada minimalnej wiedzy? Czy taka jest polityka władz uczelni – za wszelką cenę utrzymać studiującego

Conclusions

The article presents detailed conclusions on the specific results of the preliminary and comparative studies. We should also recognise the wider context of the presented analyses and impact of the obtained results on preparing society to adverse events, as well as on the effectiveness of performing tasks by institutions responsible for ensuring security which look for employees among people graduating from security-related programmes.

The quoted answers to six of the twenty questions presented to students demonstrated that there is a need for studying the motivations of students who take up security-related studies. They enable higher education institutions to expand their knowledge about potential candidates and provide employees with information about graduates.

Although the vast majority of students chose their studies because they wanted to find a job compatible with the field of study (in uniformed services or public administration in positions related to security), there is reason to doubt as to whether, due to the short self-study time, the prospective employer will find well-prepared candidates.

If this human factor, which is significant in the process of ensuring security, fails to be the strongest link, then, regardless of the level of the system, we would not be able to say that it adds value and guarantees the effective functioning of state- and citizen-protection security mechanisms and systems.

The responses and study results obtained for self-study time lead to several questions. How can you complete your studies spending only a minimal amount of time on study or not studying at all? Is there a group of teachers who let their students pass even if they lack the basic knowledge? Is this the policy of higher education institution authorities – to make students stay at all costs so that they take up second-cycle studies there? Both situations are highly disadvantageous to the potential employer and to the reputation of the higher education institution. If such situations exist, they are a short-sighted policy on the part of both the authorities and academics.

i najlepiej, aby po studiach I stopnia rozpoczął na tej samej uczelni studia II stopnia? Oba te przypadki są bardzo niekorzystne dla potencjalnego pracodawcy oraz dla opinii, jaka wytwarza się na temat uczelni. Jeżeli takie zjawiska istnieją, to są one wielką krótkowzrocznością zarówno władz uczelni, jak i zatrudnianych przez nich pracowników naukowych. Może to powodować, że struktury wielu instytucji funkcjonujących w podsystemach zapewniania bezpieczeństwa państwa i obywateli, na poszczególnych szczeblach podziału administracyjnego państwa, nie otrzymają dobrze przygotowanego kandydata do pracy [por. 6]. Społeczeństwo będzie niewystarczająco przygotowane do zmierzenia się z sytuacjami kryzysowymi.

Wyniki badań wskazują, że poszczególne uczelnie prowadzące studia na kierunkach związanych z bezpieczeństwem nie mogą optymistycznie zakładać, że w procesie rekrutacji pozyskają oprócz bieżących absolwentów szkół średnich [stanowiących obecnie już ponad 89% rozpoczynających studia – w tym samym roku (75%) lub rok po maturze (14%)], także osoby starsze, które z różnych powodów nie kontynuowały nauki po ukończeniu szkoły średniej. Stanowią oni jedynie nieco ponad 10% studiujących.

Liczność uczelni prowadzących kierunki studiów związanych z bezpieczeństwem spowodowała, że w zasadzie wyczerpał się zasób absolwentów szkół średnich, którzy podejmowali studia na dowolnym kierunku, w tym również na kierunkach związanych z bezpieczeństwem, tylko po to aby uzyskać dyplom ukończenia studiów wyższych, jako niezbędny element obejmowania kolejnych wyższych stanowisk w strukturze zatrudniających ich instytucji. Uczelnie, które będą chciały kontynuować nauczanie na kierunkach związanych z bezpieczeństwem oraz będą opierać na nich swoje funckjonowanie, będą miały do wyboru tylko dwa rozwiązania. Pierwszym z nich jest podniesienie jakości studiów i zwiększenie wymagań, które z jednej strony przełożą się na konieczność konkurowania z innymi uczelniami o dobrego absolwenta szkoły średniej i usuwania z uczelni studentów, którzy nie osiągają zadowalających wyników w nauce. Wtedy absolwenci studiów będą kandydatami spełniającymi oczekiwania potencjalnych pracodawców. Drugim rozwiązaniem jest maksymalne obniżenie jakości studiów i wymagań, aby wśród uczelni nie mieć konkurentów w pozyskiwaniu przyszłych studentów, którzy nie zostaliby przyjęci na inne kierunki studiów.

Zmiana jakości w ilość być może umożliwiłaby finansowe przetrwanie poszczególnych uczelni, jednakże nie gwarantowała potencjalnym pracodawcom, nawet w ograniczonym stopniu, pozyskania wartościowego kandydata do pracy. Absolwenci tych uczelni zasilaliby grono osób, które nie mogą znaleźć pracy i tych, którzy w rozmowach z pracodawcą wskazują w odpowiedziach na pytanie o umiejętności i kwalifikacje, że mają wyższe wykształcenie. Kierujący uczelniami muszą jednak brać pod uwagę chociażby wyniki *Diagnozy społecznej 2015*, która jednoznacznie wskazuje, że „[w] ostatnich dwóch latach spadła stopa zwrotu ze wszystkich poziomów studiów po szkole średniej. Dyplomy doktora i magistra zachowały mimo spadku swoje finansowe znaczenie, ale licencjat przestał być praktycznie opłacalną inwestycją" [7, s. 238].

This could lead to a situation where the institutions making up the state's security system at various stages of the state's administrative division, will have problems finding well-prepared candidates [cf. 6]. The public will not be sufficiently prepared to face crises.

The study results demonstrated that higher education institutions offering security-related programmes should not optimistically assume that, in addition to recent secondary school leavers [who currently comprise more than 89% of those taking up studies – in the same year (75%) or one year after their secondary school leaving exam (14%)], they will also attract candidates who, for various reasons did not continue their education after leaving secondary school. This group comprises only slightly over 10% of students.

The high number of higher education institutions introducing security-related programmes resulted in the almost complete unavailability of the population of secondary school leavers who were ready to take up studies in any field, including those related to security, only to obtain a higher school diploma as a necessity to be considered for promotion at the institutions employing them. Those higher education institutions which intend to continue teaching security-related subjects and rely on them for their functioning, will have only two solutions to choose from. The first is to improve the quality of studies and introduce more stringent requirements, which will force them, on the one hand, to compete with other higher education institutions to attract better-performing secondary school leavers and, on the other, to exclude underperforming students. If this solution is adopted then graduates will meet the expectations of their prospective employers. The second solution is to reduce the quality of studies and requirements to an extremely low level, so that there would be no competition with other higher education institutions in attracting students who would stand no chance of being admitted to other programmes.

Replacing quality with quantity might enable some higher education institutions to survive in financial terms, but potential employees will be left without even limited prospects of finding valuable candidates for jobs. People who graduated from those higher education institutions would join the numbers of those who experience difficulties finding jobs and indicate higher education in interviews with their potential employers. However, managers of higher education institutions should take into account the results of *Social Diagnosis 2015*, which clearly indicates that „[over] the last two years the rate of return for all levels of studies following secondary school decreased. PhD and master's degrees retained their financial significance, but bachelor's degrees are no longer a profitable investment" [7, p. 238].

Wykaz skrótów/List of abbreviations

bn – bezpieczeństwo narodowe/national security;
bw – bezpieczeństwo wewnętrzne/internal security;
df – stopnie swobody/degrees of freedom;
N – liczebność próbki ogółem/total sample population;
Nbn – liczba studiujących na kierunku bezpieczeństwo narodowe/the number of students of national security;
Nbw – liczba studiujących na kierunku bezpieczeństwo wewnętrzne/the number of students of internal security;
p – prawdopodobieństwo/probability;
p.p. – punkty procentowe/percentage points.

Literatura/Literature

[1] Lisiecki M., *Zarządzanie bezpieczeństwem publicznym*, Wydawnictwo Naukowe Łośgraf, Warszawa 2011, 266.

[2] *Księga dobrych praktyk w zakresie zarządzania ciągłością działania. Business Continuity Management*., R.W. Kaszubski, D. Romańczuk (red.), Wydawnictwo Centrum Prawa Bankowego i Informacji Sp. z o.o., Warszawa, 15.

[3] Kęsoń T., Lutostański M., *Pytania metryczkowe zamknięte z rekomendacjami do badań głównych. B. Pytania merytoryczne* zamknięte *(T. Kęsoń)*, w: *Student i studiowanie bezpieczeństwa. Badania rekonesansowe. Raport Końcowy*, M. Lutostański (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn 2015, 29, 35, 50, 59, 66, 75.

[4] Kęsoń T., Lutostański M., *Pytania metryczkowe zamknięte z rekomendacjami do badań głównych. A. Pytania socjodemograficzne (M. Lutostański)*, w: *Student i studiowanie bezpieczeństwa. Badania rekonesansowe. Raport Końcowy*, M. Lutostański (red.), Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn 2015, 16–17.

[5] Lutostański M., *Nota metodologiczna, w: Student i studiowanie bezpieczeństwa. Badania rekonesansowe. Raport Końcowy, M. Lutostański (red.)*, Wydawnictwo Uniwersytetu Warmińsko-Mazurskiego w Olsztynie, Olsztyn 2015, 9.

[6] Kęsoń T., *Administracja i społeczeństwo w procesie zapewniania bezpieczeństwa w sytuacjach kryzysowych – wybrane problemy*, w: *Współdziałanie terenowych organów administracji wojskowej i administracji województwa w sytuacjach kryzysowych*, K. Meszyński, M. Walancik (red.), Stowarzyszenie Ruch Wspólnot Obronnych, Warszawa 2013, 99–110.

[7] *Diagnoza społeczna 2015. Warunki i jakość życia Polaków*, J. Czapiński, T. Panek (red.), „Contemporary Economics, Quarterly of University of Finance and Management in Warsaw" 2015. 9(4), Rada Dialogu Społecznego, Wizja Press &IT Warszawa 2015, 238 [dok. elektr.] http://www.diagnoza.com/pliki/raporty/Diagnoza_raport_2015.pdf [dostęp 04.12.2018].

DR INŻ. TADEUSZ KĘSOŃ – adiunkt w Katedrze Bezpieczeństwa Wewnętrznego na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Cywilnego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej w Warszawie. Absolwent Wojskowej Akademii Technicznej, Podyplomowego Studium Bezpieczeństwa Wewnętrznego Uniwersytetu Warszawskiego oraz Marshall Center – The College of International and Security Studies – Garmisch-Partenkirchem – *Executive Course* 99-1. Pracownik centralnych organów administracji rządowej, w tym: Rządowego Centrum Studiów Strategicznych oraz Ministerstwa Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Zajmuje się polemologią oraz szeroko rozumianym bezpieczeństwem.

TADEUSZ KĘSOŃ, PH.D. – Assistant Professor at the Internal Security Department of the Civil Safety Engineering Faculty at the Main School of Fire Service in Warsaw. He graduated from the Military University of Technology, Postgraduate Studies in Homeland Security and Marshall Center – The College of International and Security Studies – Garmisch-Partenkirchem – *Executive Course* 99-1. Employed at central government administration bodies, including the Government Centre for Strategic Studies and the Ministry of Family, Labour and Social Policy. His primary interests are war studies and broadly understood security and safety issues.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

bryg. dr n. med. Mariusz Chomoncik[a),b)*], bryg. dr inż. Mariusz Feltynowski[c)], bryg. lek. Leszek Smolarczyk[d)]

[a)] *Szkoła Aspirantów PSP w Krakowie/College of the State Fire Service in Kraków*
[b)] *Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa w Nowym Sączu/State Higher Vocational School in Nowy Sącz*
[c)] *Centrum Naukowo Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute*
[d)] *Komenda Główna PSP/State Fire Service Headquarters*
**Autor korespondencyjny/Corresponding author: mchomoncik@sapsp.pl*

Działania ratownicze komponentu medycznego Polskiej Ciężkiej Grupy Poszukiwawczo-Ratowniczej (HUSAR Poland) podczas akcji po trzęsieniu ziemi w Nepalu w roku 2015

Rescue Operations of the Medical Component of the Polish Heavy Urban Search and Rescue Unit (HUSAR Poland) During the Mission After the 2015 Earthquake in Nepal

Спасательные операции медицинского подразделения польской тяжелой поисково-спасательной группы (HUSAR Польша) во время акции после землетрясения в Непале в 2015 году

ABSTRAKT

Cel: Autorzy artykułu, uczestnicy akcji Ciężkiej Grupy Poszukiwawczo-Ratowniczej Państwowej Straży Pożarnej (HUSAR Poland) po trzęsieniu ziemi w Nepalu w 2015 r. na podstawie prezentowanego studium przypadku dokonali próby przybliżenia czytelnikom specyfiki działań komponentu medycznego tej specjalistycznej formacji.

Wprowadzenie: We wstępie wyliczono główne jednostki organizacyjne PSP, z których pochodzą ratownicy Grupy, doprecyzowano okoliczności jej formalnego utworzenia, w tym powołanie pierwszego Zespołu Komendanta Głównego PSP ds. specjalizacji poszukiwawczo-ratowniczej. Następnie opisano rolę ustandaryzowanych zasad poszukiwawczo-ratowniczych w Krajowym Systemie Ratowniczo-Gaśniczym oraz przedstawiono dotychczasowe międzynarodowe akcje po trzęsieniach ziemi, w których brali udział polscy strażacy. Następnie, po wyjaśnieniu mandatu prawnego Międzynarodowej Grupy Doradczej ds. Poszukiwań i Ratownictwa (INSARAG) oraz roli jej wytycznych w określaniu minimalnych międzynarodowych standardów, autorzy doprecyzowali skład wszystkich komponentów HUSAR Poland. Celem badań było znalezienie odpowiedzi na pytanie dotyczące optymalnego sposobu wykorzystania potencjału komponentu medycznego HUSAR Poland podczas zagranicznych akcji poszukiwawczo-ratowniczych.

Metody: Materiał badawczy stanowiły międzynarodowe i krajowe dokumenty normatywne regulujące zasady funkcjonowania HUSAR Poland i określające minimalne standardy dla grup poszukiwawczo-ratowniczych i zagranicznych zespołów medycznych. Wykorzystano analizę akcji HUSAR Poland w Nepalu w 2015 r. oraz wnioski z akcji na Haiti w 2010 r. Główną metodą badawczą była analiza dokumentów oraz statystyk. W tekście przekrojowo przedstawiono zadania komponentu medycznego USAR Poland w różnych fazach tzw. „cyklu misji" i używane w praktyce dokumenty. Szczególną uwagę, zgodnie z tytułem artykułu, poświęcono ukazaniu zadań medycznych zrealizowanych podczas akcji w Nepalu. Autorzy nie tylko przedstawili przykładowe statystyki z działań komponentu medycznego Grupy w Nepalu, ale odnieśli się też do zakresu analogicznych działań z akcji na Haiti w 2010 r.

Podsumowanie: W podsumowaniu i wnioskach autorzy podjęli się próby wskazania najefektywniejszego wykorzystania komponentu medycznego HUSAR Poland w działaniach międzynarodowych, tuż po zakończeniu fazy poszukiwawczo-ratowniczej związanej z wydobywaniem poszkodowanych spod gruzów (tzw. koncepcja działania poza gruzami), tak aby jego możliwości były wykorzystane optymalnie i w pełni komplementarnie do oczekiwań społeczności poszkodowanej oraz zarządzających katastrofą instytucji. Sformułowano wnioski, zgodnie z którymi sugerowaną rolą mogłaby być realizacja zadań zbieżnych do przewidzianych wg Światowej Organizacji Zdrowia dla zagranicznego zespołu medycznego typu pierwszego „Foreign Medical Team type 1".

Słowa kluczowe: INSARAG, HUSAR POLAND, ratownictwo, zespół medyczny, Nepal, trzęsienie ziemi

Typ artykułu: studium przypadku

Przyjęty: 14.05.2018; Zrecenzowany: 27.06.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;
Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;
Identyfikatory ORCID autorów: M. Chomoncik – 0000-0002-2535-488X; M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; L. Smolarczyk – 0000-0002-9028-0485;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 104–118, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.7;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Purpose: Based on a case study, the authors, members of a heavy urban search and rescue unit (HUSAR Poland) of the State Fire Service (SFS), who participated in relief operations in the aftermath of the 2015 Nepal earthquake, try to describe the roles of medical teams within this specialist organisation.
Introduction: The article starts by enumerating the key organisational bodies of the State Fire Service where the Unit's members normally work, and proceeds to outline the history of its formal establishment, including the appointment of the first SFS Chief Commander Team for Search & Rescue. Then it describes the role of the uniform search and rescue procedures within the State Rescue and Fire-Fighting System, and presents previous international operations following earthquakes, in which Polish firefighters participated. Finally, the paper explains the legal basis for the International Search and Rescue Advisory Group (INSARAG) and the importance of its guidelines for specifying minimum international standards, and lists all the components of HUSAR Poland. The purpose of this paper was to address the question concerning the best way to utilise the potential of HUSAR Poland's medical component during foreign search & rescue operations.
Methods: Research material comprised international and domestic standards which govern the functioning of HUSAR Poland and which define the minimum standards for search and rescue groups and foreign medical teams. The paper analyses HUSAR Poland's involvement in the 2015 Nepal operation, and conclusions drawn from the 2010 Haiti operation. Its primary research method was the analysis of documents and statistical data. The article provides an overview of USAR Poland's medical team at different phases of the Response Cycle, and documents used in practice. As shown in the title, special attention was given to describing medical roles and responsibilities fulfilled during the Nepal operation. The authors not only present some statistical examples for the Unit's medical team involvement in Nepal, but also refer to some similar activities carried out during the 2010 Haiti operation.
Summary: In the Summary and conclusions section, the authors tried to identify the most effective ways of utilising HUSAR Poland's medical component in international operations, immediately after the search & rescue phase involving the recovery of victims from the rubble (known as beyond the rubble) is completed, so that its potential can be used in full to meet the expectations of the affected communities and the local emergency services. These conclusions suggest that a possible role could be to serve the functions similar to those defined by the World Health Organisation for Foreign Medical Teams Type 1.

Keywords: INSARAG, HUSAR POLAND, rescue, medical team, Nepal, earthquake
Type of article: case study

Received: 14.05.2018; Reviewed: 27.06.2018; Accepted: 05.11.2018;
The authors contributed equally to this article;
Authors' ORCID IDs: M. Chomoncik – 0000-0002-2535-488X; M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; L. Smolarczyk – 0000-0002-9028-0485;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 104–118, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.7;
This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: Авторы статьи, участники акции тяжелой поисково-спасательной группы Государственной пожарной службы (HUSAR Польша) после землетрясения в Непале в 2015 году, на основе представленного тематического исследования, попытались ознакомить читателей со спецификой работы медицинского подразделения этой специализированной группы.
Введение: Во введении перечислены основные организационные подразделения ГПС, членами которых являются участники Группы спасателей, уточнены обстоятельства ее официального создания, в том числе назначение первой поисково-спасательной команды под руководством Главного командующего ГПС. Затем была описана роль стандартизованных принципов поисково-спасательных операций Национальной спасательной и пожарной системы, и были представлены результаты работы международных спасательных операций по ликвидации последствий землетрясений, в которых участвовали польские пожарные. Затем, прояснив правовое предписание Международной консультативной поисково-спасательной группы (INSARAG) и роль ее руководящих принципов в определении минимальных международных стандартов, авторы разъяснили состав всех компонентов HUSAR Польша. Целью исследования являлось получение ответа на вопрос об оптимальном способе использования потенциала медицинского подразделения HUSAR Польша во время зарубежных поисково-спасательных операций.
Методы: В качестве исследовательских материалов были использованы международные и национальные нормативные документы, регулирующие функционирование HUSAR Польша, и определяющие минимальные стандарты для поисково-спасательных групп и иностранных медицинских бригад. Анализ участия HUSAR Польша в Непале в 2015 году и выводы из кампании на Гаити в 2010 году. Основным методом исследования был анализ документов и статистики. В тексте представлены задачи медицинского подразделения USAR Польша на разных этапах так называемого «Цикла миссии» и документы, используемые на практике. Особое внимание, в соответствии с названием статьи, посвящено представлению реализации медицинских задач, выполненных во время акции в Непале. Авторы не только представили примеры статистических данных о деятельности медицинского подразделения Группы в Непале, но также сравнили ее с участием в подобной акции, проведенной на Гаити в 2010 году.
Резюме: В резюме и выводах авторы предприняли попытки указать наиболее эффективное использование медицинского подразделения HUSAR Польша в международной акциях сразу после поисково-спасательной операции, связанной с освобождением потерпевших из-под завалов (так называемая концепция действий после освобождения из-под завалов), с тем чтобы ее возможности использовались оптимально, полностью соответствуя ожиданиям пострадавшего сообщества и тех, учреждений, которые управляют стихийным бедствием. Были сформулированы выводы, согласно которым предлагалось выполнение задач, совпадающих с теми, которые предусмотрены Всемирной организацией здравоохранения для иностранной медицинской бригады 1-го типа».

Ключевые слова: INSARAG, HUSAR POLAND, служба спасения, спасательная группа, Непал, землетрясение
Вид статьи: исследование случая

Принята: 14.05.2018; Рецензирована: 27.06.2018; Одобрена: 05.11.2018;
Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;
Идентификаторы ORCID авторов: M. Chomoncik – 0000-0002-2535-488X; M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; L. Smolarczyk – 0000-0002-9028-0485;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 104–118, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.7;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Wstęp

Początkowo Ciężką Grupę Poszukiwawczo-Ratowniczą Państwowej Straży Pożarnej (ang. Heavy Urban Search and Rescue – USAR Poland) tworzyli przede wszystkim ratownicy z pięciu grup poszukiwawczo-ratowniczych w Polsce (Małopolska, Gdańsk, Warszawa, Łódź, Poznań) oraz dowództwo z Komendy Głównej PSP. Pomimo że specjalistyczne grupy poszukiwawczo-ratownicze funkcjonowały przez kilkanaście lat oraz brały udział w akcjach i ćwiczeniach międzynarodowych, HUSAR Poland, jako formalna struktura została powołana dopiero w listopadzie 2009 roku. Było to możliwie dzięki pozytywnemu wynikowi egzaminu certyfikującego do działań ratowniczych przeprowadzonego przez Międzynarodową Grupę Doradczą ds. Poszukiwania i Ratownictwa (The International Search and Rescue Advisory Group – INSARAG) działającą w ramach Organizacji Narodów Zjednoczonych. Egzamin ten odbył się w dniach 6–10 kwietnia 2009 r. [2]. Przygotowanie do niego było realizowane na podstawie decyzji Nr 133 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej z dnia 5 września 2008 r. o powołaniu zespołu do przygotowania ciężkiej GPR PSP do certyfikacji INSARAG, a następnie Rozkazu nr 8 KG PSP z 2014 r. dot. realizacji ćwiczenia certyfikującego.

Postanowiono wtedy o zwróceniu większej uwagi na rozwijającą się w PSP mało dookreśloną specjalizację poszukiwawczo-ratowniczą. W tym celu decyzją nr 22 z dnia 25 maja 2009 r. Komendant Główny PSP powołał – analogicznie jak w przypadku ratownictwa wodnego, chemiczno-ekologicznego i wysokościowego – zespół do spraw ratownictwa poszukiwawczo-ratowniczego [3, s. 114]. Jednym z pierwszych celów powołanego Zespołu zostało wypracowanie propozycji prawnego, centralnego sformalizowania i uporządkowaniu struktury specjalizacji poszukiwawczo-ratowniczej, przewidzianej do działań (akcji i ćwiczeń) poza granicami państwa oraz rozpoczęcie pracy nad dokumentem opisującym tę specjalizację na wszystkich poziomach, od podstawowego do międzynarodowego [3, s. 115]. Na wiosnę 2018 r. w skład HUSAR Poland wchodzili już przedstawiciele aż 11 jednostek organizacyjnych PSP [1].

Strażacy-ratownicy z Polski wzięli udział w działaniach ratowniczych po trzęsieniach ziemi w następujących państwach:

- Armenii (grudzień 1988),
- Turcji (sierpień, listopad 1999),
- Indiach (styczeń 2001),
- Algierii (maj 2003),
- Iranie (grudzień 2003),
- Pakistanie (październik 2005),
- Indonezji (maj 2007),
- Haiti (styczeń 2010),
- Nepalu (kwiecień 2015).

INSARAG

INSARAG to sieć ponad 80 krajów i organizacji skupionych pod patronatem Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ). Początki INSARAG sięgają roku 1988, w którym doszło do trzęsienia ziemi w Armenii. Napotkane podczas prowadzenia

Introduction

Initially, the Heavy Urban Search and Rescue (HUSAR) Poland, included mainly rescuers from five search and rescue groups in Poland (Małopolska, Gdańsk, Warsaw, Łódź, Poznań) and command from the State Fire Service Headquarters. While specialist search and rescue groups have functioned for over a dozen years and have taken part in international operations and exercises, HUSAR Poland, as a formal structure, was not set up until November 2009. This was possible with positive results of the rescue operations certification exam carried out by the International Search and Rescue Advisory Group (INSARAG), which operates within the United Nations structures. The exam took place on 6–10 April 2009. [2]. Preparations for the exam were based on Decision No. 133 of the Chief Commander of the State Fire Service (SFS) of 5 September 2008 on setting up a team for preparing the State Fire Service's heavy USAR for INSARAG certification, and later Order No. 8 of the Chief Commander of the SFS of 2014 on the certification exercise.

This is when a decision was made to pay more attention to a vaguely defined search & rescue specialisation, which was only being developed at the SFS at the time. For this purpose, similarly to water, chemical and environmental, and high-altitude rescue services, the Chief Commander of the SFS issued Decision No. 22 of 25 May 2009 to set up a search and rescue team [3, p. 114]. One of the first objectives for the Team was to develop its proposed legal, centralised formal framework and to organise the structure of the search and rescue specialisation, designed for service (operations and exercises) outside the country, and to commence work on a special document to describe this specialisation at all levels, from basic to international [3, p. 115]. In spring 2018, HUSAR Poland already included representatives of as many as 11 units of the SFS [1].

Firefighters-rescuers from Poland took part in rescue operations following earthquakes in the following countries:

- Armenia (December 1988),
- Turkey (August and November 1999),
- India (January 2001),
- Algeria (May 2003),
- Iran (December 2003),
- Pakistan (October 2005),
- Indonesia (May 2007),
- Haiti (January 2010), and
- Nepal (April 2015).

INSARAG

INSARAG is a network of more than 80 countries and organisations under the United Nations (UN) umbrella. The network was established in 1988, when an earthquake struck Armenia. The problems faced during those operations, including the lack

ISSN 1895-8443

działań problemy (między innymi brak procedur dotyczących koordynacji działania, różnice w wyposażeniu i możliwościach poszczególnych grup) potwierdziły konieczność unormowania tego rodzaju pomocy. Oficjalnie INSARAG powstała w 1991 r. W roku założycielskim organizacji zespół międzynarodowych ekspertów opracował swoistą podstawę organizowania, funkcjonowania i działania grup USAR w sytuacji wystąpienia trzęsienia ziemi (wytyczne INSARAG). W Wytycznych uwzględnione zostały także zadania określone w Rezolucji Zgromadzenia Ogólnego nr 57/150 z dnia 16 grudnia 2002 r. o wzmocnieniu efektywności i koordynacji międzynarodowej pomocy w dziedzinie poszukiwania i ratownictwa na terenach zurbanizowanych [4]. Mając na celu usprawnienie mechanizmów pomocy, Wytyczne wprowadzają minimalne standardy działania wszystkich międzynarodowych grup poszukiwawczo-ratowniczych oraz sposobu koordynacji międzynarodowej pomocy po trzęsieniu ziemi. Zawierają one zasady udzielania pomocy ratowniczej przez USAR od chwili alarmowania grupy, przez fazę mobilizacji, transportu do kraju potrzebującego pomocy i działania ratownicze na jego terenie do czasu ich zakończenia i powrotu do kraju. Dokumentem opisującym organizację Polskich Specjalistycznych Grup Poszukiwawczo-Ratowniczych są Zasady organizacji działań poszukiwawczo-ratowniczego w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym opracowane w KG PSP [5].

W skład Grupy USAR wchodzi:
- zespół dowódczy,
- zespół logistyczny,
- zespół operacyjny.

Zespół operacyjny składa się z:
- komponentu rekonesansu,
- komponentu operatorów urządzeń lokalizacyjnych,
- komponentu ratowników,
- komponentu ratowników medycznych / lekarzy (komponent medyczny),
- oficera ds. spraw bezpieczeństwa budowli i materiałów niebezpiecznych (ang. HAZMAT),
- komponentu przewodników psów z psami.

Fazy działań międzynarodowych USAR:
- faza gotowości,
- faza mobilizacji,
- faza działania,
- faza demobilizacji,
- faza po misji.

of procedures concerning action coordination and differences in equipment and capabilities of different groups, confirmed the need to develop uniform standards for such rescue services. Officially, INSARAG was established in 1991. In its founding year, a team of international experts developed specific guidelines to serve as the basis for the organisation, functioning and operation of USAR groups in case of an earthquake (INSARAG Guidelines). The Guidelines also included the tasks specified in General Assembly Resolution No. 57/150 of 16 December 2002 – Strengthening the effectiveness and coordination of international urban search and rescue assistance [4]. Designed to make assistance provision more efficient, the Guidelines introduce minimum operating standards for all international search and rescue groups, and methods of coordinating international support following earthquakes. They include the rules for rescue assistance by USAR from the time the group is alarmed, to its mobilisation, transport to the affected country, rescue operations on its territory until their completion, and return to the home country. The document that describes the organisation of Polish specialist search and rescue groups is entitled "Rules for the organisation of search and rescue operations within the national rescue and fire-fighting system", as developed by the SFS Headquarters [5].

Each USAR Group includes:
- management team,
- logistics team,
- operations team.

The operations team comprises:
- search component,
- locating system operators component,
- rescue component,
- medical rescuer / doctor component (medical component),
- building safety and hazardous materials (HAZMAT) officer,
- search & rescue dogs and handlers component.

Phases of international USAR operations:
- preparedness phase,
- mobilisation phase,
- operations phase,
- demobilisation phase,
- post-mission phase.

Komponent medyczny USAR

W wytycznych INSARAG znajdują się szczegółowe zadania USAR dla poszczególnych komponentów. W przypadku komponentu medycznego zadania te przedstawiają się w następujący sposób.

I. W fazie „gotowości" komponent medyczny jest odpowiedzialny za utrzymanie gotowości operacyjnej i ogólnych wymagań określonych przez taktykę USAR. W związku z tym członkowie komponentu powinni dbać o:
- odpowiednie szczepienia dla członków grupy,

Medical component of USAR

INSARAG Guidelines describe specific USAR roles and responsibilities for each component. Response objectives for the medical component are as follows.

I. During the Preparedness phase, the medical component is required to maintain a constant state of mission readiness and comply with all other general requirements as determined by USAR team policy. Consequently, component members should
- have appropriate vaccinations for working in the affected country recommended by national health authorities,

– odpowiedni zapas środków medycznych,
– oraz określić sposób monitorowania stanu zdrowia ratowników podczas działań poza granicami kraju.

II. W fazie „mobilizacji" do zadań członków komponentu medycznego należą:
– zapoznanie się z zagrożeniami zdrowotnymi i medycznymi, jakie występują w kraju działań,
– dokonanie oceny lokalnego systemu pomocy medycznej w celu podjęcia próby odpowiedzi na pytanie, czy system lokalny jest w stanie pokryć potrzeby wynikające ze zdarzenia,
– przeprowadzenie przed wylotem wstępnego badania medycznego ratowników i psów ratowniczych oraz kontrolę wymaganej, międzynarodowej dokumentacji medycznej,
– koordynacja planu działań z osobami funkcyjnymi odpowiedzialnymi za bezpieczeństwo,
– przygotowanie planu zabezpieczenia medycznego na czas transportu.

Dostęp do leków dla USAR Poland realizowany był zgodnie z Decyzją Małopolskiego Wojewódzkiego Inspektora Farmaceutycznego w Krakowie z dnia 19.12.2013 r., w której wyraził on zgodę na posiadanie przez SA PSP w Krakowie w celach medycznych preparatów zawierających w swoim składzie środki odurzające lub psychotropowe (FAKR – I.857.1.214.2013).

III. W fazie „działań" komponent medyczny jest odpowiedzialny za:
– rozpoznanie dostępności lokalnych i międzynarodowych zasobów medycznych,
– uzyskanie informacji w zakresie lokalnych procedur medycznych w zakresie zgłaszania rannych, przekazywania rannych, zarządzania informacjami o poszkodowanych, sposobie utylizacji odpadów medycznych oraz określenie zasad komunikacji z lokalnymi zasobami ratownictwa medycznego,
– dostarczenie danych medycznych niezbędnych w procesie podejmowania decyzji,
– promowanie z oficerem bezpieczeństwa i dowódcą komponentu logistycznego zachowania, które będzie gwarantowało bezpieczeństwo zdrowotne i higienę ratowników w obozie i strefie roboczej,
– stałe monitorowanie stanu zdrowia członków grupy, a w razie potrzeby doraźną opiekę dla ratowników oraz psów ratowniczych,
– współpracę z komponentem ratowniczym, która ma na celu zapewnienie prawidłowej pomocy medycznej uwięzionym poszkodowanym oraz bezpieczną ich ewakuację.

IV. Podczas demobilizacji komponent medyczny:
– koordynuje demobilizację z lokalnymi organami pomocy medycznej,
– przekazuje informacje i dokumenty wskazanym organizacjom medycznym,
– sporządza listę sprzętu i środków medycznych do przekazania,
– przewiduje możliwe zagrożenia dla zdrowia ratowników związane z działaniami oraz określa potencjalne wymagania na późniejszą interwencję medyczną,
– maintain the medical cache stored in clearly labelled containers with attached inventory list for deployment and border-crossing, and

prepare processes to efficiently medically screen all personnel at the time of international deployment.

II. During the Mobilisation phase, USAR Team Medical Component is required to:
– conduct remote information gathering to include the receiving country specific health and medical risks.
– assess the local medical system to determine if it can effectively cope with the impact of the situation or if the system is extended beyond its capabilities,
– prior to deployment, conduct the medical screening process for USAR team personnel and search dogs as well as a review of the required international documentation,
– coordinate with Safety and hazmat functions to clarify overlapping concerns, and
– determine medical plan for in-transit phase and be prepared to adjust en route.

Access to medications for USAR Poland was based on the Decision of the Provincial Pharmaceutical Inspector in Kraków of 19 December 2013, which authorised College of the State Fire Service in Kraków to hold, for medical purposes, preparations including narcotic or psychotropic substances (FAKR – I.857.1.214.2013).

III. During the Operations phase, the medical component is expected to:
– identify the availability of local and international medical resources,
– obtain information about local medical procedures such as: casualty handover, casualty transport, fatality management, and medical waste disposal, and to specify methods of regular communications with local health authorities,
– provide medical input into USAR team decision making/planning process,
– coordinate with Safety, hazmat, and Logistics functions to promote safe health and hygiene practices (BoO and work sites),
– provide continuous health monitoring and medical care to USAR team members (to include canines), and
– integrate with Rescue function to provide emergency medical care to entrapped victims and to ensure safe patient extrication.

IV. During Demobilisation, USAR Team Medical Component:
– coordinates demobilisation with local relevant health authorities,
– provides handover to relevant medical organisations,
– identifies appropriate medical cache donations,
– assesses potential exposures and need for follow on medical care, and
– maintains in-transit medical care for team to home base.

V. After return to home base, the medical component is required to:

– zapewnia opiekę medyczną dla członków grupy na czas powrotu.

V. Po powrocie do kraju do zadań komponentu medycznego należy:

– w razie konieczności razem z pionem dowódczym koordynacja natychmiastowej i długoterminowej pomocy medycznej dla ratowników (w tym również pomocy psychologicznej),
– odtworzenie wyrobów i środków medycznych,
– dostarczenie danych i wniosków do końcowego raportu.

Członkowie komponentu medycznego w ramach funkcjonowania ciężkiej grupy zobowiązani są do posiadania wyrobów i środków medycznych oraz wiedzy, jak je stosować. Umiejętności w tym zakresie pozwalają na podjęcie następujących działań:

– resuscytacji krążeniowo-oddechowej,
– zaawansowanych technik udrażniania dróg oddechowych,
– podawania tlenu przez maskę, cewnik i wentylacji workiem samorozprężalnym,
– kontroli krwawienia,
– zaopatrywania ran,
– leczenia wstrząsu,
– sedacji i leczenia przeciwbólowego,
– postępowania w przypadku odmy,
– stabilizacji i unieruchamiania kończyn,
– oparzenia i innych zagrożeń środowiskowych,
– postępowania w zespole zmiażdżenia,
– postępowania w sytuacji amputacji urazowej i konieczność rozczłonkowania,
– segregacji medycznej,
– zabezpieczenia przy narażeniu na czynniki zakaźne,
– przemieszczania poszkodowanych,
– ochrony zdrowia psychicznego, w tym rozpoznawania nieprawidłowych reakcji na stres wśród członków zespołu i zapobieganie im,
– udzielania pierwszej pomocy oraz wstępnej opieki weterynaryjnej dla psów ratowniczych we współpracy z przewodnikami.

Ponadto członkowie komponentu medycznego muszą mieć opracowaną procedurę postępowania w sytuacji, gdy ratownik zostanie poważnie ranny lub kiedy będzie umierać. Podobna procedura w uzgodnieniu z lokalnymi władzami (ang. LEMA – Local Emergency Management Authority – Lokalne Struktury Zarządzania w Sytuacjach Kryzysowych) musi być opracowana na wypadek śmierci lub kontaktu ze zmarłymi osobami z lokalnej populacji.

Trzęsienie ziemi w Nepalu w roku 2015 – działania komponentu medycznego HUSAR Poland

W dniu 25 kwietnia 2015 r. miało miejsce trzęsienie ziemi o sile 7,8 stopnia w skali Richtera z epicentrum w Nepalu. Odnotowano po nim kolejnych 18 wstrząsów wtórnych o sile powyżej 4 stopnia w skali Richtera. W wyniku trzęsienia ziemi śmierć poniosło 8964 osób, a rannych zostało co najmniej 23 500 osób. Drugie trzęsienie ziemi wydarzyło się 12 maja i spowodowało około 2 500 dodatkowych obrażeń i 200 zgonów [6].

– coordinate immediate and long term medical follow-up with USAR Team Management (including mental health),
– rehabilitate USAR medical cache,
– provide input into USAR team post mission operations report.

Members of HUSAR Medical Team are required to have the medical products and devices, and to know how to use these. These skills support the following actions:

– CPR,
– advanced airway management,
– oxygen administration through a mask, cannula and bag ventillation,
– haemorrhage control,
– wound care,
– treatment for shock,
– sedation and pain management,
– management of tension pneumothorax,
– immobilisation and packaging,
– burns and environmental emergencies,
– management of crush syndrome,
– amputations and dismemberment,
– medical triage,
– procedures for hazardous materials exposure,
– casualty evacuation,
– mental health protection, including the identification and prevention of inappropriate stress responses among team members,
– first aid and emergency veterinary care for the USAR team search dogs in collaboration with their handlers.

Moreover, medical teams are required to have a procedure for dealing with serious injury or fatality amongst team members. A similar procedure needs to be agreed with the Local Emergency Management Authority (LEMA) for deceased team members or finding deceased members of the local population.

2015 earthquake in Nepal – HUSAR Poland Team Medical operations

On 25 April 2015, an earthquake with a magnitude of 7.8 on the Richter scale, hit Nepal. It was followed by 18 aftershocks with a magnitude above 4 on the Richter scale. As a result of the earthquake, 8964 people perished, and 23,500 became injured. A second earthquake took place on 12 May and killed another 200 people, while some 2,500 more were injured [6]. Based on Order No. 13, issued by the CO SFS on 25 April 2015,

Na podstawie Rozkazu Komendanta Głównego PSP nr 13 z dnia 25 kwietnia 2015 r. w akcji Nepal 2015 udział wziął HUSAR Poland. Grupa została przetransportowana na miejsce akcji samolotem PLL LOT Boeing 767 „Dreamliner".

Przez pierwsze dni grupa realizowała zadania poszukiwawczo-ratownicze oraz rozpoznawcze. Wspierała także proces ewakuacji polskich obywateli do kraju. Zgodnie z wytycznymi INSARAG istnieje pięć poziomów rozpoznania – ostatni piąty świadczy o tym, że wszystkie ciała zostały wydobyte. W piątym dniu pobytu grupy w Nepalu (30.04) kończyła się faza ratownicza i rozpoczynała humanitarna (zapewnianie dostępu do zwłok i ich wydobycie, stabilizacja konstrukcji, rozpoznanie procedury przyjęcia i dystrybucji wewnętrznej pomocy humanitarnej).

Na porannej odprawie dowódców grup międzynarodowych w lokalnym sztabie zarządzania w sytuacji kryzysowej (LEMA), który w przypadku Nepalu tworzyły struktury wojskowe (ang. Multi National Military Coordination Center – MNMCC), przedstawiciel Światowej Organizacji Zdrowia (ang. World Health Organization, WHO) odpowiedzialny za koordynację działań międzynarodowych grup medycznych (Foreign Medical Teams – FMT) poprosił Grupę o rozpoznanie potrzeb medycznych w kilku wskazanych dystryktach [7]. Dowództwo Grupy, zgodnie z polityką INSARAG dotyczącą działań „beyound the rubbles – poza gruzami", przychyliło się do prośby i podjęło decyzję o wysłaniu komponentu medycznego na północny-wschód od Katmandu, w północno-wschodniej części regionu Sindupalchowk, tuż przy granicy z Tybetem. To w tych rejonach najwięcej miejscowości było odciętych od świata, a pomoc do poszkodowanych kierowana była przy użyciu śmigłowców wojskowych. Grupa 16 ratowników (w tym 2 lekarzy i 7 ratowników medycznych) w godzinach popołudniowych dotarła do miejscowości Barhabise. Jest ona położona 27 kilometrów od granicy z Chinami oraz stanowi ostatni punkt, do którego można było dojechać samochodem. W odległości około 5 kilometrów od miasta w kierunku granicy z Chinami doszło do osunięcia ziemi i kamieni na drogę, co skutecznie uniemożliwiło ruch kołowy. Po wstępnym rozpoznaniu i nawiązaniu kontaktu z lokalnymi placówkami służby zdrowia (były częściowo zniszczone) członkowie zespołu zorganizowali doraźny punkt pomocy medycznej, na który składały się dwa namioty.

HUSAR Poland joined Operation Nepal 2015. The group was deployed to the affected teritory by Boeing 767 "Dreamliner" operated by PLL LOT.

Initially, the group implemented search & rescue and reconnaissance tasks. It also supported the process of evacuating Polish citizens back home. As per INSARAG Guidelines, there are five levels of reconnaissance – the final, fifth, level means that all bodies have been recovered. On the fifth day on site (30 April), the rescue phase was completed and the humanitarian phase commenced (providing access to and recovering bodies, building structure stabilisation, identification of the procedures for the acceptance and distribution of domestic humanitarian aid).

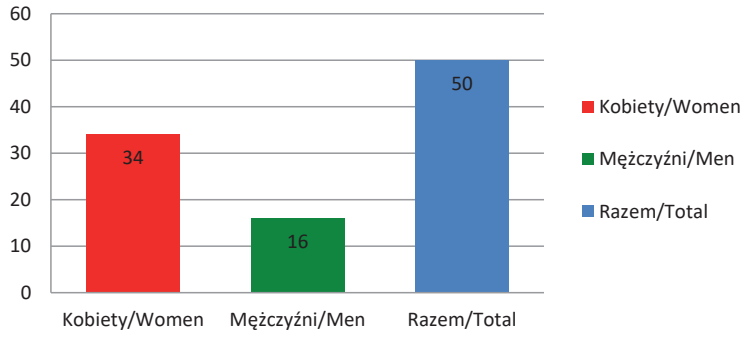
During the morning debriefing for leaders of international groups, at the local LEMA headquarters, which in Nepal was represented by its military structures, Multi National Military Coordination Centre, a representative of the World Health Organisation (WHO), responsible for coordinating Foreign Medical Teams (FMT) asked the Group to assess the medical needs in a few specific districts [7]. In line with the INSARAG policy related to beyond the rubble relief operations, the Group Management agreed to oblige and decided to send its medical team north east of Kathmandu, to the north-eastern part of Sindhupalchok District, next to the border with Tibet. This region had the largest number of areas cut off from the rest of the world, and victims received assistance using military helicopters. A group of 16 rescuers (including 2 doctors and 7 medical rescuers) arrived in Bahrabise in the afternoon. The city is located 27 kilometres from the border with China and constitutes the most remote place reachable by car. Within some 5 kilometres from the city towards the border with China there had been a landslide and rockfall, which effectively blocked any vehicular traffic. After initial assessment and contacting local health care facilities (which were partially damaged), team members organised an ad-hoc medical assistance point with two tents.

Rycina 1. Doraźny punkt pomocy medycznej
Figure 1. Emergency medical help point
Źródło: Archiwum HUSAR Poland.
Source: HUSAR Poland Archives.

 ISSN 1895-8443

Od godzin popołudniowych do następnego dnia do ok. godz. 14 do punktu zgłosiło się w sumie 50 osób w różnym wieku. W godzinach nocnych punkt medyczny był w gotowości do zdarzeń nagłych (dyżur 2 ratowników), lecz nie przyjmował pacjentów.

From the afternoon that day until about 2 p.m. the next day about 50 people of various ages reported to the point. At night, the point was ready to respond to emergencies (2 rescuers on duty) but did not receive any patients.



Rycina 2. Osoby zgłaszające się do punktu medycznego z podziałem na płeć
Figure 2. People reporting to the medical point, broken down by gender
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

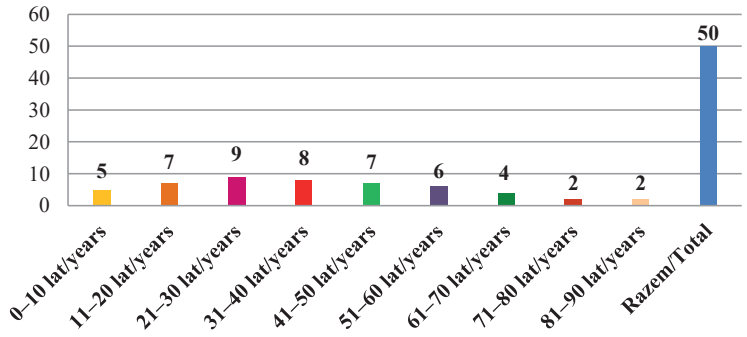
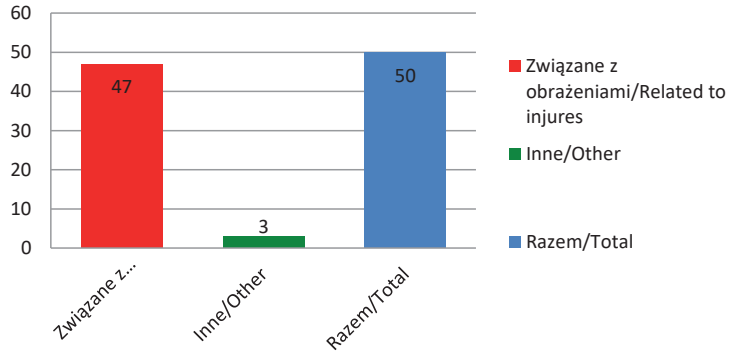


Figure 3. People reporting to the medical point, broken down by age
Rycina 3. Osoby zgłaszające się do punktu medycznego z podziałem na wiek
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Głównymi powodami zgłoszenia się do punktu medycznego były obrażenia doznane podczas trzęsienia ziemi.

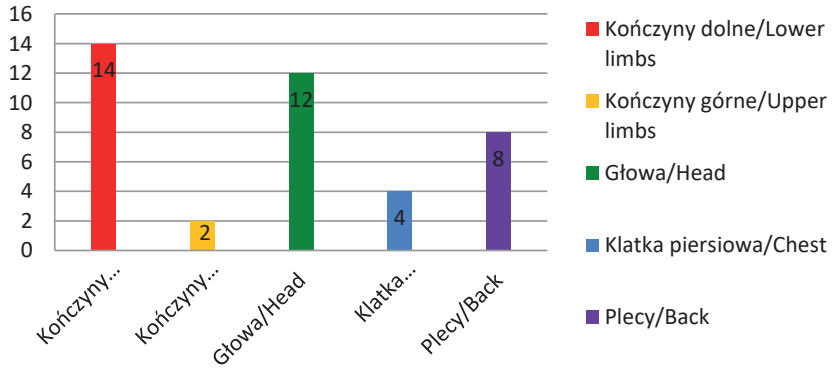
The main reasons for reporting to the medical point were injures suffered during the earthquake.



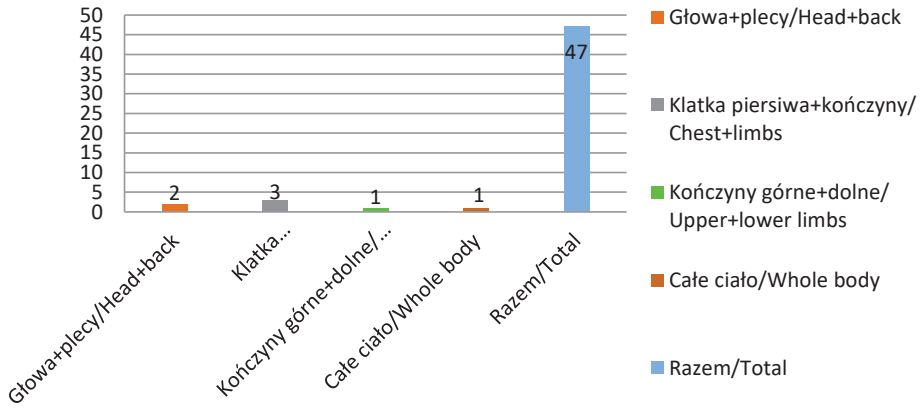
Rycina 4. Powody zgłoszenia się do punktu medycznego
Figure 4. Reasons to report to a medical point
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Głównymi obrażeniami, z którymi mieli do czynienia ratownicy, były powierzchowne rany głowy, stłuczenia klatki piersiowej, stłuczenia i złamania kończyn, zranienia powierzchowne z przerwaniem ciągłości tkanek. Ze względu na to, że rany nie były opatrzone bezpośrednio po doznanym obrażeniu (rany zastarzałe) konieczne było ich oczyszczenie, dezynfekcja i założenie jałowych opatrunków. Obrażenia wymagały regularnej kontroli najpierw w punkcie medycznym (przez 1 dzień), a następnie w placówce utworzonej przez Japończyków lub w lokalnych placówkach służby zdrowia. U kilku poszkodowanych po badaniu przedmiotowym zaistniało podejrzenie złamania kości udowej. Tych pacjentów po unieruchomieniu, nawodnieniu i zabezpieczeniu przeciwbólowym przekazano do lokalnych placówek służby zdrowia (w 1 dniu pobytu) oraz do japońskiego szpitala polowego (w 2 dniu). Głównych 47 przyczyn zgłoszenia się do punktu medycznego, związanych z obrażeniami, przedstawionych zostało poniżej (ryc. 5a i 5b).

The most common injuries treated by rescuers were superficial head injuries, bruised chest, bruised or broken extremities, and superficial cuts. Since these wounds were not managed immediately after the incident (old wounds), they had to be cleaned, disinfected, and dressed. The injuries required regular monitoring, first at the medical point (for 1 day), and then at a facility established by the Japanese, or at local health care centres. After physical examination, a few victims were diagnosed with possible thigh bone fracture. After immobilisation and pain management, those patients were transferred to local health care centres (day 1) and to the Japanese field hospital (day 2). 47 most common reasons for reporting to the medical point, related to various injuries, are presented below (Figs. 5a and 5b).

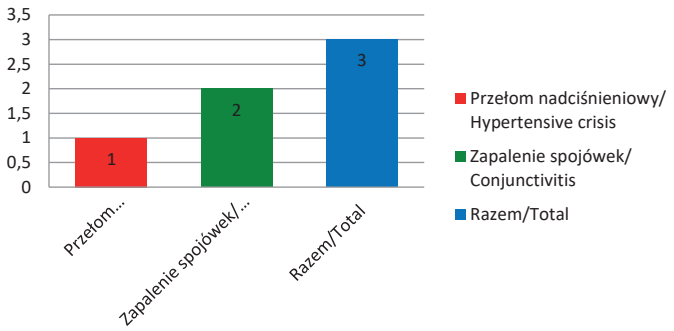


Rycina 5a. Powody zgłoszenia się do punktu medycznego związane z obrażeniami – cz. I
Figure 5a. Reasons for reporting to the medical point related to injuries – part I
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.



Rycina 5b. Powody zgłoszenia się do punktu medycznego związane z obrażeniami – cz. II i łącznie
Figure 5b. Reasons for reporting to the medical point related to injuries- part II and summary
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

ISSN 1895-8443



Rycina 6. Inne powody zgłoszenia się do punktu medycznego
Figure 6. Other reasons for reporting to the medical point
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Figure 7a. Examples of injuries
Rycina 7a. Przykładowe obrażenia
Source: HUSAR Poland Archives.
Źródło: Archiwum HUSAR Poland.

Rycina 7b. Przykładowe obrażenia
Figure 7b. Examples of injuries
Źródło: Archiwum HUSAR Poland.
Source: HUSAR Poland Archives.

Rycina 7c. Przykładowe obrażenia
Figure 7c. Examples of injuries
Źródło: Archiwum HUSAR Poland.
Source: HUSAR Poland Archives.

Z wykazu leków zabieranych na akcje zagraniczne, w Nepalu ratownicy z komponentu medycznego wykorzystali te przedstawione w tabeli poniżej [8].

Out of the list of medications for international operations, in Nepal the medical team used those listed in the table below [8].

Tabela 1. Leki zużyte podczas udzielania pomocy [8]
Table 1. Drugs used while providing assistance [8]

Name/Nazwa	International name/Nazwa międzynarodowa	Quantity/ Liczba
Aldesan E, 2%, płyn 1 l/Aldesan E, 2%, liquid 1 l	Glutaraldehyde, ethyl alcohole, aqua	2
Altacet 1 g, tabl., 6 szt./Altacet 1 g, tabl., 6 pcs	Aluminii acetotartras	4
Altacet 1% (10 mg/g), żel 75 g, tuba/Altacet 1% (10 mg/g), gel 75 g, tube	Aluminii acetotartras	2
Argosulfan 2% (20 mg/g), krem 40 g/Argosulfan 2% (20 mg/g), cream 40 g	Sulfathiazolum natricum	4
Gentamicin WZF 0,3%, krople do oczu, 5 ml/Gentamicin WZF 0,3%, eye drops, 5 ml	Gentamicini sulfas	1
Ketonal 100 mg/2ml, roztw. do wstrz. 10 amp/Ketonal 100 mg/2ml, injection solution. 10 amp	Ketoprofenum	2
Morphini sulfas WZF 10 mg/ml, 1 ml, roztw. do wstrz. 10 amp/Morphini sulfas WZF 10 mg/ml, 1 ml, injection solution, 10 amp	Morphini sulfas	1
Tramal 100 mg/2ml, roztw. do wstrz., 5 amp./Tramal 100 mg/2ml, injection solution, 5 amp.	Tramadoli hydrochloridum	1
Pyralgin 0,5 g/ml, 2 ml, roztw. do wstrz., 5 amp./Pyralgin 0,5 g/ml, 2 ml, injection solution, 5 amp.	Metamizolum natricum	1
Pyralgin 0,5 g/ml, 5 ml, roztw. do wstrz., 5 amp./Pyralgin 0,5 g/ml, 5 ml, injection solution, 5 amp.	Metamizolum natricum	2
Majamil prolong. 100 mg, tabl. powl. 20 szt./Majamil prolong. 100 mg, coated tablets, 20 pcs.	Diclofenacum natricum	1
0,9% NaCl, 10 ml, inj., 100 amp./0,9% NaCl, 10 ml, inj., 100 amp.	Natrium chloratum	1
0,9% NaCl, 100 ml, inj./0,9% NaCl, 100 ml, inj.	Natrium chloratum	10
0,9% NaCl, 500 ml, inj./0,9% NaCl, 500 ml, inj.	Natrium chloratum	20
Płyn fizjologiczny wieloelektrolitowy 500 ml, inj./Multielectrolyte saline solution 500 ml, inj.	Fluid infusione	20
Sulfacetamidum Natr. 10%, 0,5 ml, krople 12 szt./Sulfacetamidum Natr. 10%, 0,5 ml, drops, 12 pcs	Sulfacetamidum Natricum	2
Tribiotic, maść, antyb., 1g, 10 saszet./Tribiotic, antibiotic ointment, 1g, 10 sachets	Bacitracinum, Neomycinum, Polymyxinum B	1
Woda utleniona 3%., 100 g./Hydrogen peroxide 3%., 100 g.	Hydrogen peroxide	10

Source: Own elaboration.
Źródło: Opracowanie własne.

W drugim dniu działań dowództwo komponentu medycznego spotkało się z przedstawicielką Międzynarodowej Federacji Czerwonego Krzyża (IFRC) i przedstawicielem Japońskiej

On day two of the operation, the medical team management met a representative of the International Federation of Red Cross (IFRC) and a representative of the Japan International Cooper-

Organizacji Pomocy Humanitarnej (JICA). Podczas spotkania ustalono, że ze względu na kończący się zapas leków, jakim dysponował komponent medyczny, dalszą opiekę nad poszkodowanymi, po przekazaniu przez HUSAR Poland kopii kart udzielonej pomocy (ryc. 8), przejmie personel szpitala polowego z JICA.

ation Agency (JICA). During the meeting, it was decided that, because of the dwindling medication supplies available to the medical team, the personnel of the JICA field hospital would take over the patients from HUSAR Poland as it provides JICA with copies of patient reports (Fig. 8).

Podsumowanie i wnioski

Ze względu na fakt, że statystyczna przeżywalność pod gruzami drastycznie maleje po 72–96 godzinach od trzęsienia, certyfikowane według INSARAG grupy poszukiwawczo-ratownicze są zobowiązane dotrzeć do kraju wzywającego pomocy w możliwie najkrótszym czasie. W tym celu wykorzystywany jest transport lotniczy. Zniszczenie infrastruktury w wyniku trzęsienia ziemi, w tym także medycznej, powoduje, że mieszkańcy dotkniętego katastrofą rejonu pozostają bez opieki medycznej zarówno tej podstawowej, jak i specjalistycznej.

Dlatego można wnioskować, że wysoka mobilność certyfikowanych wg. INSARAG grup poszukiwawczo-ratowniczych pozwala, w szczególności w początkowej fazie ratowniczej, realizować aspekt ratownictwa medycznego. Między innymi o tym mówi polityka INSARAG dot. działań „poza gruzami – beyound the rubble". Ratownicy medyczni w Grupie HUSAR koncentrują się na działaniach samej Grupy, jak i wstępnym zabezpieczeniu poszkodowanych wydobytych z gruzowisk. Gdy kończy się faza ratownicza i zaczyna się humanitarne wydobywanie zwłok oraz stabilizacja konstrukcji, wówczas szczególnie uwidacznia się „luka" opieki medycznej i przestrzeń do realizacji działań wydzielonego komponentu medycznego GPR. Do tego czasu i uzyskania pomocy medycznej osoby dotknięte trzęsieniem często zostają pod opieką rodzin, ale nie mają zapewnionej kwalifikowanej opieki medycznej.

Na podstawie doświadczeń z Haiti oraz Nepalu można również wnioskować, że w przyszłości, podczas zagranicznej akcji HUSAR, istotnym zadaniem powinno być wydzielenie komponentu medycznego grupy na końcu fazy ratowniczej. Powinno to spowodować, że „luka" braku opieki medycznej byłaby jak najkrótsza do czasu, gdy pieczę nad poszkodowanymi mogą przejąć odtworzone służby lokalne lub organizacje, których głównym zadaniem jest opieka medyczna (np. przybywające kilka dni później niż GPR tzw. zagraniczne zespoły medyczne – Foreign Medical Teams) [9]. Zasadne jest także twierdzenie, że po doposażeniu osobowym i sprzętowym wydzielony komponent medyczny HUSAR Poland byłby w stanie realizować zadania zbieżne do przewidzianych przez Światową Organizację Zdrowia dla zagranicznych zespołów medycznych typu pierwszego „Foreign Medical Team type 1" , aż do czasu ich przybycia na miejsce zdarzenia.

Summary and conclusions

Due to the fact that, statistically, the survival rates for victims trapped under rubble decrease dignificantly after 72–96 hours from an earthquake, INSARAG-certified search & rescue groups are required to arrive at the affected country as soon as possible. As a result, such teams are deployed by air transport. Since infrastructure, including medical facilities, is often damaged as a result of the earthquake, people living in areas affected by the disaster remain without medical care, both primary and secondary.

Consequently, highly mobile INSARAG-certified search & rescue teams accommodate this need for medical rescue, especially during the initial phases of rescue operations. This issue is addressed, for example, in the INSARAG policy for beyond the rubble relief operations. HUSAR Group medical rescuers focus on their relevant Group roles, and on providing first aid to victims recovered from the ruins. When the rescue phase is completed, and the humanitarian recovery of bodies and building structure stabilisation begins, the gap in medical assistance becomes particularly evident, and S&R groups can step in to fulfil this role. Before the provision of professional medical care is possible, earthquake victims often receive support from their families, but are not provided qualified medical aid.

Our Haiti and Nepal experiences have shown that in future international operations of HUSAR Poland, the optimum approach will be to deploy its medical team at the end of the rescue phase. This should narrow the gap in medical assistance until reconstructed local services or organisations (such as Foreign Medical Teams, which arrive several days after search & rescue teams), whose primary objective is to provide medical assistance, can take over the care of the victims [9]. In addition, it seems reasonable to argue that, provided with additional personnel and equipment, the deployed medical component of HUSAR Poland could serve roles similar to those defined by the World Health Organisation for Foreign Medical Teams Type 1, until such teams arrive on site.

OCENA PACJENTA
(Casualty assessment)

Imię i Nazwisko: Name	**Data:** Date	**Godzina:** Time
Kobieta / Mężczyzna Female/Male	**Wiek:** Age	**Numer dokumentu (paszport itp.):** Casualty ID
Lokalizacja: Location		

Wywiad (Interview):

S (**S**ymptoms):

A (**A**llergies):

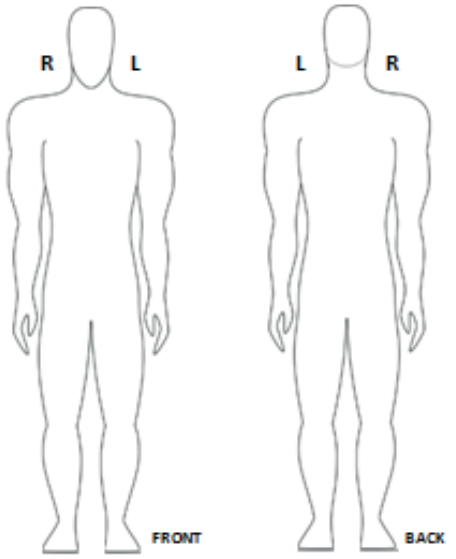
M (**M**edicines):

P (**P**ast medical history):

L (**L**ast oral intake):

E (**E**vents leading up to the injury and/or illness):

A = otarcie (**a**brasion)
B = oparzenie (**b**urn)
C = stłuczenie (**c**ontusion)
D = zwichnięcie (**d**islocation)
F = złamanie (**f**racture)
H = krwotok (**h**aemorrhage)
P = ból (**p**ain)
R = wzmożone napięcie mięśniowe (**r**igidity)
S = obrzęk (**s**welling)
Am = amputacja (**am**putation)
Co = ciało obce (**f**oregin body)



Temperatura ciała: Body temp.	**Źrenice:** Pupils	równe ☐ (equal)	prawidłowa reakcja na światło ☐ (reactive to light)
		okrągłe ☐ (round)	brak prawidłowej reakcji na światło ☐ (non-reactive to light)

ISSN 1895-8443

Skala wczesnego ostrzegania (Early Warning Score – EWS)

Parametry (parameters)	**Wyniki w punktach** (results points)						
	3	**2**	**1**	**0**	**1**	**2**	**3**
Tętno (pulse)		**< 40**	**41–50**	**51–90**	**91–110**	**111–130**	**> 131**
Częstość oddechów (respirations)	**< 8**		**9–11**	**12–20**		**21–24**	**> 25**
Temperatura ciała (body temp.)	**< 35,0**		**35,1–36,0**	**36,1–38,0**	**38,1–39,0**	**> 39,1**	
RR skurczowe (blood pressure)	**< 90**	**91–100**	**101–110**	**111–199**		**> 200**	
Saturacja (saturation)	**< 91**	**92–93**	**94–95**	**> 96**			
AVPU				**A**	**V**	**P**	**U**
Diureza (diuresis)	**< 10 ml/h**	**< 0,5 ml/kgm.c./h**		**> 0,5 ml/kgm.c./h**			

Punktacja (points)	**Minimalny odstęp między obserwacjami** (Minimum observation interval)	**Zadania** (tasks)	
		Ratownik medyczny/pielęgniarka (Medical rescuer/nurse)	**Lekarz** (Doctor)
3–5	**Co 4 godziny** (every 4 hours)	**Kontrola parametrów** (parameter check)	
6	**Co 4 godziny** (every 4 hours)	**Wezwać lekarza** (call the doctor)	**Badanie lekarskie w ciągu 1 godziny** (medical checkup in 1 hour)
7–8	**Co 1 godzinę** (every 1 hour)	**Wezwać lekarza. Podłączyć monitor na stałe** (call the doctor, begin continuous monitoring)	**Badanie lekarskie w ciągu 30 minut** (medical checkup in 30 minutes)
> 9	**Co 30 minut** (every 30 minutes)	**Wezwać lekarza. Podłączyć monitor na stałe** (call the doctor, begin continuous monitoring)	**Badanie lekarskie w ciągu 15 minut. Wezwanie anestezjologa, ponieważ poszkodowany prawdopodobnie wymaga leczenia na OIT** (Medical checkup in 15 minutes. Call an anaesthesiologist, as the injured probably needs treatment at the ICU)

Parametry (parameters)	**Czas** (time)													
Tętno (pulse)														
Częstość oddechów (respirations)														
Temperatura ciała (body temp.)														
RR skurczowe (blood pressure)														
Saturacja (saturation)														
AVPU														
Diureza (diuresis)														
EWS (Early Warning Scale)														
GCS (Glasgow Coma Scale)														
NRS (Numerical Rating Scale of pain)														
Poziom cukru (sugar levels)														

Leczenie i podane leki (treatment & meds. given):

Lek/wykonana czynność (drug/done action)	**Czas** (time)													

Miejsce przekazania poszkodowanego: Place of the victim handover	**Data:** Date	**Godzina:** Time	**Podpis:** Signature

Rycina 8. Karta oceny poszkodowanego HUSAR Poland

Figure 8. Victim assessment card used by HUSAR Poland

Source: Own elaboration.

Źródło: Opracowanie własne.

Literatura/Literature

[1] Decyzja Nr 47 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej z dnia 26 września 2017 r. zmieniająca Decyzję Nr 46/2009 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej z dnia 24 listopada 2009 r. w sprawie wyznaczenia strażaków Państwowej Straży Pożarnej do składu grupy USAR Poland przygotowującej do udziału w działaniach poszukiwawczo-ratowniczych i ćwiczeniach poza granicami państwa oraz wyznaczenia strażaków Państwowej Straży Pożarnej do udziału w działaniach transgranicznych prowadzonych wspólnie z pododdziałami Centralnego Odwodu Operacyjnego.

[2] Rozkaz nr 8 Komendanta Głównego Państwowej Straży Pożarnej z dnia 27 marca 2014 r. w sprawie organizacji ćwiczenia recertyfikującego Polską Ciężką Grupę Poszukiwawczo-Ratowniczą „IER 2014" przez ekspertów Międzynarodowej Grupy Doradczej ds. Poszukiwań i Ratownictwa (INSARAG) USAR Poland.

[3] Feltynowski M., *Przygotowanie Grupy Poszukiwawczo-Ratowniczej Państwowej Straży Pożarnej do działań międzynarodowych*, rozprawa doktorska, AON 2016.

[4] Oficjalna strona internetowa INSARAG, www.insarag.org.- [dostęp: 14.04.2018].

[5] Zasady organizacji działań poszukiwawczo-ratowniczego w krajowym systemie ratowniczo-gaśniczym, KG PSP, Warszawa, 2011 z późn. zm.

[6] Nepal earthquake 2015 – Grade 3 emergency,http://www.who.int/emergencies/nepal/en/ [dostęp: 20.06.2018].

[7] Feltynowski M., Kopczyński M., *Sprawozdanie ze służbowego wyjazdu zagranicznego z akcji GPR „Nepal 2015"*, KG PSP, Warszawa 2015.

[8] Decyzja Małopolskiego Wojewódzkiego Inspektora Farmaceutycznego w Krakowie z dnia 19.12. 2013 r wyrażająca zgodę na posiadanie przez SA PSP w Krakowie w celach medycznych preparatów zawierających w swoim składzie środki odurzające lub psychotropowe (FAKR – 1.857.1.214.2013).

[9] Norton I., Von Schreeb J., Aitken P., Herard P., Lajolo C., *Classification and minimum standards for foreign medical teams in sudden onset disasters* ,World Health Organisation, Global Health Claster 2013, 27–28.

BRYG. DR N. MED. MARIUSZ CHOMONCIK – ukończył Akademię Medyczną w Białymstoku. Jest specjalistą anestezjologii i intensywnej terapii, koordynatorem ratownictwa medycznego w Szkole Aspirantów Państwowej Straży Pożarnej w Krakowie. Ponadto pracuje jako wykładowca w Państwowej Wyższej Szkole Zawodowej w Nowym Sączu. Podczas Światowych Dni Młodzieży był dowódcą Komponentu Medycznego PSP.

BRYG. LEK. LESZEK SMOLARCZYK – ukończył Akademię Medyczną w Krakowie. Jest lekarzem systemu, koordynatorem ratownictwa medycznego służby PSP.

BRYG. DR INŻ. MARIUSZ FELTYNOWSKI – kierownik Centrum Systemów Bezzałogowych i Autonomicznych – Centrum Dronów. Od 2016 r. kierownik Działu Samodzielnych Ekspertów w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie. W 2016 r. ukończył studia III stopnia na Wydziale Zarządzania i Dowodzenia, Akademii Obrony Narodowej, uzyskując stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk społecznych. Specjalista w zakresie działań ratowniczych, w tym zwłaszcza problematyki działań i funkcjonowania specjalistycznych grup poszukiwawczo-ratowniczych kierowanych do działań po katastrofach budowlanych i trzęsieniach ziemi.

BRIGADIER MARIUSZ CHOMONCIK, MD, PH.D. – he graduated from the Medical University of Białystok. He specialises in anaesthesiology and intensive therapy and coordinates medical rescue operations at the School of State Fire Service in Kraków. He also works as a lecturer at the State University of Applied Sciences in Nowy Sącz. During the World Youth Day he headed the Medical Component of the State Fire Service (PSP).

BRIGADIER LESZEK SMOLARCZYK, MD – he graduated from the Jagiellonian University Medical College. He is a physician working under.

BRIG. ENG. MARIUSZ FELTYNOWSKI, PH.D. – manager of the Drone Centre – Centre for Unmanned and Autonomous Systems. Since 2017 manager of the Department of Independent Experts of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów. In 2016 he completed his doctoral studies at the Faculty of Management and Command of the National Defence University of Warsaw, obtaining the title of Doctor of Social Sciences. Specialist in the field of rescue operations, particularly issues related to the operations and functioning of specialised search-and-rescue teams deployed in the aftermath of construction accidents and earthquakes.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

CNBOP-PIB

TWÓJ PARTNER W
BEZPIECZEŃSTWIE

SZKOLENIA SPECJALISTYCZNE

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

Szkolenia dla projektantów, instalatorów i konserwatorów

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

Szkolenie dla rzeczoznawców ds. zabezpieczeń przeciwpożarowych

Dyrektywa ATEX

Ocena ryzyka związanego z możliwością wystąpienia atmosfer wybuchowych – podejście praktyczne

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

PEŁNA OFERTA I ZAPISY NA WWW.CNBOP.PL

CENTRUM NAUKOWO-BADAWCZE OCHRONY PRZECIWPOŻAROWEJ im. Józefa Tuliszkowskiego PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY
Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów | tel. +48 22 769 32 00 | cnbop@cnbop.pl | www.cnbop.pl

Paul Bryant, MBA[a)], Dorota Brzezińska, Ph.D.[a)]*, prof. Marek Dziubiński, Ds.C.[a)]

[a)] *Lodz University of Technology, Faculty of Process and Environmental Engineering*
**Corresponding author: dorota.brzezinska@p.lodz.pl*

A Multi-Storey Car Park Fire – Was the Fire Strategy at Fault?

Пожар на многоэтажной автостоянке. Была ли виновата система противопожарной защиты?

Pożar wielopoziomowego parkingu. Czy winna była strategia ochrony przeciwpożarowej?

ABSTRACT

Introduction: At the beginning of 2018, a massive fire affected a multi-storey car park in Liverpool. The car park serves a nearby major arena that was hosting a horse show at that time. Fortunately, there were no fatalities. However, the damage was extensive as approximately 1,150 cars were destroyed, many people were evacuated and some animals had to be rescued.

Aim: This article considers the need to revise fire strategies for car parks. Do modern vehicle designs introduce a changing risk profile? Could new concepts in car park design also affect the risk profile? And, most of all, should fire strategies better address the issues of property protection, business continuity and environmental protection?

Summary: Following the fire, several questions were asked. Could such a fire have been prevented? What lessons can be learned? Would a fire sprinkler system have prevented the fire from growing so large? Sometimes, when discussing the issue of fire safety, we mainly focus on the potential consequences of a fire for human life. The majority of fire safety regulations around the world focus on the protection of human life, with other objectives being rarely duly considered. However, the fire that occurred in the UK has shown that perhaps we need to consider much more factors and thoroughly analyse the fire strategies of buildings. The term "fire strategy," thought widely used, often appears misunderstood, even by those operating within the fire safety sector. In essence, a fire strategy needs to be specific to the unique set of fire-related parameters of the building or structure to which it applies, including the processes that occur within it and the actual occupancy profiles. Moreover, it should be modified and adjusted when necessary, in order to remain adequate for its inherent goal, which is to prevent and mitigate fire incidents and their impact. The factors dictating the need for document modification include changes in the legislation or stakeholder requirements, revised building structures or layouts, changes in the occupancy or use of the building, and new technology or research. The fire strategy process is covered by BS PAS 911, and it is actually designed for more complex building arrangements or special structures where no obvious or quick solutions can be found. The question is whether the Liverpool car park represented such complex geometry?

Keywords: car parks, fires in car parks, fire strategies
Type of article: case study

Received: 09.03.2019; Reviewed: 11.05.2018; Accepted: 05.07.2018;
Percentage contribution: P. Bryant – 80%; D. Brzezińska – 10%; M. Dziubiński – 10%;
Authors' ORCID IDs: P. Bryant – 0000-0003-1516-908X; 0000-0003-1516-908X; D. Brzezińska – 0000-0003-4615-4454;
M. Dziubiński – 0000-0002-7765-1106;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 120–125, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.8;
This is an open-access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Введение: В начале 2018 года произошел огромный пожар на многоэтажной автостоянке в Ливерпуле. Автостоянка была предназначена для людей, посещающих выставочный зал, в котором в тот день происходила выставка лошадей. К счастью, вследствие пожара никто не погиб. Однако причиненный пожаром ущерб был очень значительным. Пожар уничтожил более 1400 автомобилей, было эвакуировано 4000 человек. Не удалось спасти некоторых животных.

Цель: В этой статье обсуждается вопрос о том, следует ли переосмыслить стратегию противопожарной охраны в случае с подземными паркингами и гаражами. Требуют ли современные типы автомобилей внесения изменений относительно предполагаемых факторов риска на стоянках? Или, может быть, новый подход к дизайну парковки влияет на факторы риска? И самый важный вопрос касается необходимости обеспечения защиты собственности, непрерывности ведения бизнеса и окружающей среды с помощью систем противопожарной охраны.

Заключение: Как и в случае любого пожара такого масштаба, пожар на подземном паркинге в Ливерпуле вызвал негодование в обществе. Была ли возможность предотвращения этого пожар или, по крайней мере, его значительного сведения к минимуму? Какие выводы следует сделать из этого инцидента? Может ли автоматическая система пожаротушения справится с таким стремительным развитием пожара? Чаще всего, когда мы думаем о противопожарной защите, мы рассматриваем прежде всего последствия пожара в аспекте защиты жизни

людей. Основой большинства правил пожарной безопасности во всем мире является защита жизни, и редко учитываются другие аспекты. Однако пожар, который произошел в Великобритании, показывает, что нам, возможно, придется рассмотреть гораздо больше аспектов и проанализировать полную стратегию пожаротушения здания.
Термин «противопожарная система безопасности» широко используется, но его часто неверно истолковывают даже люди, работающие в секторе пожарной безопасности. По сути, противопожарная система должна быть адаптирована к специфике пожара для конкретного здания, его структуре, процессам или типу использования. Кроме того, ее следует обновлять и корректировать, чтобы она постоянно оставалась верной своей неотъемлемой цели, которая заключается в предотвращении и смягчении хода развития пожара и минимизации его последствий. Причины, требующие изменения документа, включают изменения в правилах или требованиях менеджеров, необходимость обновления структуры или систем, изменения способа использования и появление новых противопожарных технологий или тестов].
Процесс создания противопожарной системы, описанной в стандарте BS PAS 911, фактически предназначен для зданий с более сложной геометрией или для специальных архитектурных конструкций, когда нет очевидной и быстрой схемы решения. Вопрос здесь в том, относился ли «Ливерпульский паркинг» к такой сложной геометрии?
Ключевые слова: паркинг, автостоянка, пожар на автостоянке, противопожарная система
Вид статьи: исследование случая

Принята: 09.03.2018; Рецензирована: 11.05.2018; Одобрена: 05.07.2018;
Процентоне соотношение участия в статье: P. Bryant – 80%; D. Brzezińska – 10%; M. Dziubiński – 10%;
Идентификаторы ORCID авторов: P. Bryant – 0000-0003-1516-908X; 0000-0003-1516-908X; D. Brzezińska – 0000-0003-4615-4454;
M. Dziubiński – 0000-0002-7765-1106;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 120–125, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.8;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRAKT

Wprowadzenie: Na początku 2018 roku miał miejsce ogromny pożar wielopoziomowego parkingu w Liverpoolu. Parking był przeznaczony dla osób odwiedzających halę widowiskową, która w tym dniu była gospodarzem pokazu koni. Na szczęście w pożarze nie było ofiar śmiertelnych. Jednak zniszczenia, które spowodował, były bardzo rozległe. Zniszczonych zostało ponad 1400 samochodów, 4000 osób ewakuowano. Nie udało się uratować niektórych zwierząt.
Cel: Niniejszy artykuł przedstawia rozważania nad pytaniem, czy w przypadku parkingów i garaży powinniśmy ponownie przemyśleć strategie przeciwpożarowe. Czy nowoczesne typy samochodów wprowadzają konieczność zmiany zakładanych profili ryzyka parkingów? Czy może nowe podejście do projektowania parkingów wpływa na ich profil ryzyka? I najbardziej istotna wątpliwość ze wszystkich, to czy nasze strategie przeciwpożarowe nie powinny być bardziej ukierunkowane na ochronę majątku, ciągłości biznesu i środowiska naturalnego.
Podsumowanie: Tak jak w przypadku każdego zdarzenia pożarowego o tak dużej skali, w środowisku społecznym pożar parkingu w Liverpoolu wywołał oburzenie. Czy pożarowi temu można było zapobiec lub przynajmniej znacząco zminimalizować jego skutki? Jakie wnioski należy wyciągnąć z tego zdarzenia? Czy samoczynny system gaśniczy zapobiegłby tak silnemu rozwojowi pożaru? Najczęściej, kiedy myślimy o ochronie przeciwpożarowej, rozważamy przede wszystkim konsekwencje pożaru w aspekcie ochrony życia ludzi. Podstawą większości przepisów przeciwpożarowych na całym świecie jest ochrona życia i rzadko inne aspekty są brane pod uwagę. Jednak pożar, który miał miejsce w Wielkiej Brytanii, pokazuje, że być może musimy rozważyć znacznie więcej i przeanalizować pełną strategię przeciwpożarową budynku.
Termin „strategia przeciwpożarowa" jest powszechnie stosowany, ale jest często źle interpretowany, nawet przez osoby działające w sektorze bezpieczeństwa pożarowego. W istocie strategia pożarowa musi być dopasowana do specyfiki pożarowej danego budynku, jego konstrukcji, zachodzących w nim procesów czy profilu użytkowników. Ponadto powinna ona być aktualizowana i dostosowywana, tak aby stale pozostawała wierna swojemu nieodłącznemu celowi, którym jest zapobieganie i łagodzenia przebiegu zdarzeń pożarowych oraz minimalizacja ich skutków. Powody, które wymuszają konieczność modyfikacji dokumentu obejmują zmiany w przepisach lub wymaganiach zarządców, konieczność zaktualizowania struktury lub układów, zmiany sposobu użytkowania oraz pojawienia się nowych technologii pożarowych lub badań. Proces tworzenia strategii pożarowej opisany w standardzie BS PAS 911 jest tak naprawdę przeznaczony dla budynków o bardziej złożonej geometrii lub dla specjalnych układów architektonicznych, gdy nie istnieje oczywisty i szybki schemat rozwiązania. Powstaje tu pytanie, czy parking w Liverpoolu należał do takich złożonych geometrii?
Słowa kluczowe: parking, garaż, pożar w garażu, strategia przeciwpożarowa
Typ artykułu: studium przypadku

Przyjęty: 09.03.2018; Zrecenzowany: 11.05.2018; Zatwierdzony: 05.07.2018;
Procentowy wkład merytoryczny: P. Bryant – 80%; D. Brzezińska – 10%; M. Dziubiński – 10%;
Identyfikatory ORCID autorów: P. Bryant – 0000-0003-1516-908X; 0000-0003-1516-908X; D. Brzezińska – 0000-0003-4615-4454;
M. Dziubiński – 0000-0002-7765-1106;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 120–125, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.8;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

The incident

On the last day of 2017, a car park situated in the area of Liverpool, England, known as the King's Dock, was the venue of a major fire that made headlines around the world. The multi-level car park, with capacity for 1,600 vehicles, was subjected to a fire that entirely engulfed the building and destroyed most of the cars on most of the levels. It is estimated that approximately 1,150 cars were destroyed by the fire. The local fire authority, Merseyside Fire and Rescue Service, said that the blaze was one of the worst it had ever dealt with.

In this article the authors, using the example of this fire incident, want to highlight the issues related to fire strategy documents developed for car parks. Such documents

need to be consistent with the legislation, stakeholder requirements, revised building structures or layouts, the current occupancy or use of the building, and the new technology or research [1, 2]. The fire strategy process covered by BS PAS 911 [3] is, in fact, designed for complex building arrangements or special structures where obvious and quick solutions can be found. The authors address the question of whether the Liverpool car park represented such complex geometry.

The car park is located next to a huge arena – the Echo Arena, right by the Liverpool Waterside. The Liverpool International Horse Show was being held at the Echo Arena at this time. This Arena has a total capacity of 11,000 people. People were evacuated during the Liverpool Show. Residents of the nearby apartments were also evacuated due to smoke.

It was reported that twenty-one fire engines were used to put out the fire. Along with assisting in the evacuation of all persons who might have been trapped, their objective was to eliminate the risk of the building collapse.

There were no fatalities or injuries. However, some animals had to be rescued. Two dogs were rescued from cars left on the second floor, and in the early hours of the New Year's Day, four more dogs were set free from vehicles parked on the seventh floor. Given that there was a horse riding event next door. Members of the public also helped to rescue 80 horses that were being stabled on the ground floor of the car park.

It is thought that an old Land Rover was the cause of the fire, when it burst into flames. This quickly spread from vehicle to vehicle until all the vehicles were on fire [4, 5]. Figures 1–2 show the fire and its aftermaths.

Figure 1. Fire at a multi-storey car park in Liverpool
Source: Merseyside Fire & Rescue Service resources.

a) b)

Figure 2. The aftermaths of the multi-storey car park fire in Liverpool: a) a view of the destroyed interior and cars b) a view from the street
Source: Merseyside Fire & Rescue Service resources.

The repercussions

In the cold light of the day, Joe Anderson, Mayor of Liverpool [5], said that the Council would take advice on any "lessons to be learned" over the fire at the local authority-owned building, constructed in 2007.

As with any serious fire, soul searching started as the fire had died away leaving horrific consequences. The UK fire sprinkler lobby became very vocal about the benefits of sprinkler systems. Whereas sprinklers are required for all basement car parks, they are not obligatory for those situated above the ground level [6]. The Fire and Rescue Service agreed that a sprinkler system

 ISSN 1895-8443

would have made their task much easier by keeping the fire under control. It is most likely that the fire would never have spread as it did if one or more sprinkler heads had been operated at a sufficiently early stage.

However, is it the right time to look at car park fire strategies? Undoubtedly, the risk has greatly changed since many multi-storey car parks were first built.

A change in vehicle design

Vehicle technology has changed radically over the last decades and it will continue to do so. Cars have become much more sophisticated and, more importantly, reliable. The NFPA statistics [7] show that in 1980 there were around 460,000 vehicle fires in the USA while in 2014 this figure dropped dramatically to around 170,000. Given that car ownership grew rapidly in the reference period, it can be concluded that car fires have been on the decrease. Consequently, it could be said that the risk profile of car parks has been similarly reduced. But is this really the case going forward?

The issue of cars vulnerability to a fire has again been questioned, considering the ever-increasing demand for electric cars. Electric cars make use of lithium-Ion batteries. The issue of a lithium-ion battery is that lithium is the least dense metallic element, which means that, weight-for-weight, it can pack more power than other types of batteries. However, lithium is also a highly reactive substance as it belongs to the same alkali metal group as sodium and potassium. This, together with the manufacturing techniques employed to optimise power, by producing finely designed anode and cathodes, increases the likelihood of fire and explosion.

A few years ago, and in the early days of one of the most well-known commercially-produced electric cars – Tesla, a proud owner drove his Model S down a highway [4]. He accidentally ran over a piece of metal, possibly dropped by a truck. That metal somehow punctured the quarter-inch thick armoured undercarriage of the vehicle and penetrated its battery pack. Within 30 minutes, the car was in flames. This was the first fully electric vehicle fire on U.S. roads, and it was caught by a viral video that went around the world. As the car was equipped with a warning system, the driver was instructed to get off the highway as soon as the incident happened.

This, and many other examples, have dented the image of the electric car. However, car designers have recognised this issue, and it is commonly believed that that this problem can be designed out, in order to make electric cars no more likely to catch a fire than regular petrol-powered cars.

Car park design

As with all building designs in the European Union, car parks are governed by a set of ten Eurocodes, specifying how structural design should be conducted within the EU. These were developed by the European Committee for Standardisation with the purpose of providing a means to prove, among other objectives, the compliance with the requirements for mechanical strength, stability and safety in the case of fire. However, in order to understand how fire safety objectives, other than those referring to structural stability, are incorporated into the design of car parks, we need to look much further.

One of the recognised books used for the design of car parks in the United Kingdom, as well as in other countries, is *"The Car Park Designer's Handbook"* authored by Jim Hill [8]. This book discusses the key criteria used in calculating parking bays and stalls, aisle width, ramps, height limitations, etc. The book begins with listing over 20 factors in an overall design brief for a typical car park. However, none of these factors recognises fire safety as a critical feature.

The book goes on with identifying the requirements for horizontal and vertical escape, and it contains a dedicated section covering fire safety (which refers to the Building Regulations Approved Document B [6]). These provisions are solely designed to ensure the safety of car park users in the event of fire. However, there are two statements within the book that clearly neglect the need to consider any additional measures for the protection of the car park and vehicles against fire.

The first statement under fire-fighting measures states that *"it has long been recognised that the fire load in car parks is not particularly high and vehicle fires do not spread."* Another section under the *"Sprinklers"* title points out that *"the Building Regulations acknowledge that it is not essential to install sprinklers."* Given the above, it can be inferred that both statements are at least questionable and do not consider the property, business or environmental factors related to a fire.

But perhaps there are new ideas in car park design that require the review of such statements. In order to save valuable space in cities, a new form of multi-storey car parks is being introduced, referred to as "Stackers." Stackers are mechanical devices which hold cars within a car park. They are normally computer-controlled and designed to accommodate more cars in a given area, when compared to traditional car parks. This is achieved by stacking rows of cars, often with little vertical separation.

In the UK, following the introduction of a three-year government-sponsored car park programme, concerns were raised regarding the potential damage which may be caused by fires in stacker-type car parks.

The British Automatic Fire Sprinkler Association (BAFSA) believed that sprinkler systems could be a vital component of the fire strategy for car parks, especially of the stacker type. Therefore, they commissioned UK's Building Research Establishment (BRE) Global [5] to undertake a stacker fire test, with the use of a sprinkler system.

During the testing of sprinklers in a vertical pattern, it was revealed that the operation of high-level sprinklers could affect the operation of lower-level ones, due to the cooling effect of water on sprinkler heads.

However, following the test, important conclusions were formulated. Once activated, the sprinkler system rapidly controlled and extinguished the vehicle fire. Although there was some fire spread from the lower-ignition car to the upper car, it was evident that the sprinklers effectively controlled the fire. The sprinkled stacker showed a considerably reduced the overall fire size and resulted in lower temperatures. While the fire spread to the upper

vehicle, the upper vehicle did not become fully involved, and the risk of the fire spreading beyond the test geometry to nearby cars was significantly reduced by the presence of the sprinkler system.

Reviewing fire safety objectives for car parks

The fire should also encourage us to consider the issue of fire safety regulations binding in car parks. Legislation, regulations and codes are all focused on the human safety aspects related to car park fires. But perhaps the Liverpool fire has highlighted that our legislation, or at least the binding building regulations, should duly consider other objectives, too.

Back in 2007, British Standard Specification PAS 911 [3] introduced a concept of objectives setting in the formulation of fire strategies. This is represented by an objectives matrix (Figure 3).

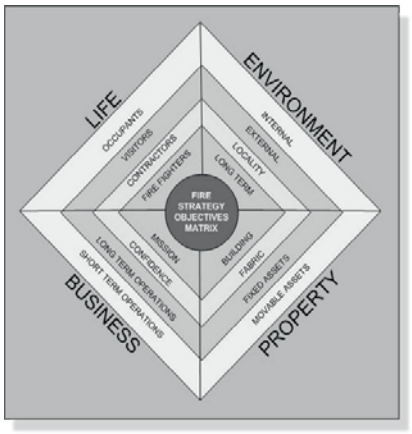


Figure 3. Objectives matrix [1–3]

Let us use the four base objectives to review how this could apply to a multi-storey car park.

Life Safety: Fire safety for car parks has been well established, and the fact that such a major fire led to no injuries could be regarded as supporting that stance.

Property Protection: This is the main crux of the issue in the case of the Liverpool fire. Property is lost in at least two respects:

1. The car park infrastructure. It is conceivable that the extent of damage may lead to the car park's being completely knocked down and rebuilt. It is estimated that the construction of a new car park costs, on average, around £8,000.00 per space [9]. The rebuilding of a car park with 1,600 spaces would, therefore, lead to a bill of around £13 m.
2. The cars and belongings of customers: Even if we used a conservative estimate of the average lost car value of £10k, and took the figure of a total of 1,500 cars that were lost, this would give us a figure of £15 m. However, a local newspaper estimated a higher figure of £20 m [9].

Business Continuity and Protection: What may not be immediately understood is the knock-off effect on the venue and local businesses. It was revealed in 2017 that the Echo Arena, acknowledged as one of the UK's premier venues, sustained a loss of £2.7 m [9]. Given that the car park is the main access to the 11,000-seat arena, any further negative impact to the attraction of customers could be potentially disastrous for the long-term survival of the venue. We should also not forget about the numerous restaurants, bars and other businesses that are highly reliant on the Echo Arena.

Putting a specific value on this is difficult but the failure of the many businesses that could permanently suffer appears rather sizable.

Environmental Protection: Twenty-one fire engines were employed to extinguish the fire. Given that the car park was situated next to a main river, this is no doubt the place where some of the fire-fighting water found its way. Given that the water run-off might have been contaminated with plastics, petrol and diesel, we should think about the environmental damage to the river and local community. This is rarely considered in fire strategies despite being a potentially vital factor. Again, the exact costs are hard to determine, but many examples from around the world show figures in millions or even tens of millions (GBP) for individual cases [10, 11].

Conclusion

Fire safety regulations have always been concentrated on the human safety aspects of building design and use. However, a major fire, such as the Liverpool multi-storey car park fire, points to the need to duly consider other factors, such as property protection, business continuity and environmental protection. Based on a simple assessment of the overall cost of the Liverpool fire, the total potential impact of the ignition of a single old car could easily run into many millions GBP. How would this measure against the cost of a sprinkler system? Not to mention that the longer-term impacts of the Liverpool car park fire are yet to be seen.

ISSN 1895-8443

References

[1] Brzezińska D., Bryant P., Strategie ochrony przeciwpożarowej budynków, Wydawnicwo Politechniki Łódzkiej, Łódź 2018.
[2] BSI. 2007. PAS 911: 2007: Fire strategies – guidance and framework for their formulation, London: BSI.
[3] Bryant P., *Fire Strategies – Strategic Thinking*, London 2013.
[4] Bellio D., November 2013. "Battery fires in electric car danger." Scientific American.
[5] Crowder D., Sprinkler protected car stacker fire test. Test Report, Garston, United Kingdom: Building Research Establishment, 2009.
[6] Building Regulations Approved Document B, London, 2010.
[7] Hylton J, Haines G. September 2016, "Fire loss in the United States 2015," NFPA Statistics
[8] Hill J., Rhode G., Voller S., Whapples C., "*Car park designer's handbook*", ICE Publishing, 2005.
[9] Liverpool Echo Newspaper online article 2018 - https://www.liverpoolecho.co.uk/news/liverpool-news/echo-arena-car-park-blaze-14108934 [accessed: 1.03.2018].
[10] Parking Consultants Ltd estimate – 2018 http://www.parkingconsultantsltd.com/6n.ht4 [accessed: 1.03.2018].
[11] "The business desk" website -nhttp://www.thebusinessdesk.com/northwest/news/744312-echo-arena-owner-posts-2.7m-loss. 4 [accessed: 1.03.2018].

PROF. MAREK DZIUBIŃSKI, D.SC. ENG. a research fellow at the Lodz University of Technology, currently serves as the Head of the Department of Chemical Engineering at the Faculty of Process Engineering and Environmental Protection at the Lodz University of Technology. His scientific interests revolve around multiphase flows, with particular emphasis on Newtonian and non-Newtonian liquid-gas liquid flows, rheology and technical rheometry, risk and process safety elements (single- and two-phase outflows from pipelines and reservoirs), and the maintenance of emulsions and their properties.

PAUL BRYANT, MBA, is a British chartered fire engineer and chartered electrical engineer. He has a first degree in electrical engineering and a master's degree in business administration. Hi is a founding partner of Fire Cubed LLP, an international fire strategy company. He is best known for his work in developing the concept of robust fire strategies around the world. He wrote British Standard Specification PAS 911 in 2007 and more recently authored his much acclaimed book *Fire strategies – strategic thinking*. In his earlier career Paul was Head of Fire Engineering for London Underground and formed his own business Kingfell. Before that, he worked for the Loss Prevention Council and Fire Offices' Committee. He is a Chartered Fire Engineer, Member of the Institute of Fire Engineers and liveried member of the Worshipful Company of Firefighters.

DOROTA BRZEZIŃSKA, PH.D. ENG., is an adjunct at the Faculty of Process Engineering and Environmental Protection at the Lodz University of Technology. She is involved in the teaching activities in the field of fire engineering, fire ventilation systems and fire protection in construction. She also gives lectures on fire ventilation at postgraduate studies at the Warsaw University of Technology and the Main School of Fire Service in Warsaw. In 2009, she completed postgraduate studies in Internal Fire Modeling at the Faculty of Fire Safety and Security Systems Engineering at the University of Lund in Sweden. She has authored and co-authored over 100 technical and conference publications, including *"The Guide on Smoke Removal of High and High-Rise Buildings"* and the monograph entitled *"Fri. Fire ventilation of buildings."* Her research focuses on assessing the effectiveness of fire and living ventilation systems in various types of construction works, and the search for optimal technical solutions in this area. She has gained extensive experience in the design of fire ventilation systems in real facilities, for which, as the owner of GRID, she has conducted over 250 analyses using CFD simulations. She is the vice-president of the Polish Branch of the Association of Fire Safety Engineers (SFPE) and an active member of the Polish Association of Fire Engineers and Technicians (SITP).

bryg. dr inż. Mariusz Feltynowski[a)]*, mgr inż. Maciej Zawistowski[a)]

[a)] *Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute*
Autor korespondencyjny: mfeltynowski@cnbop.pl

Możliwości wykorzystania bezzałogowych platform w służbach ratunkowo-porządkowych

Opportunities Related to the Use of Unmanned Systems in Emergency Services

Возможность использования беспилотных платформ в службах экстренной помощи

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest przedstawienie możliwości platform bezzałogowych oraz rozwiązań w nich stosowanych, które można wykorzystać w służbach mundurowych. Określono także rodzaje czujników, które są wykorzystywanew platformach bezzałogowych oraz ich przydatność dla różnych służb.
Wprowadzenie: Współcześnie coraz częściej mamy do czynienia z konstrukcjami pojazdów bezzałogowych, zarówno amatorskich jak i profesjonalnych. Wykorzystywane są one głównie w mediach oraz amatorsko – do realizacji filmów i wykonywania zdjęć. Pomimo znacznego rozpowszechnienia platform bezzałogowych rzadko stanowią wyposażenie służb mundurowych. W artykule przedstawiono możliwości wykorzystania pojazdów bezzałogowych na przykład do:

- obserwacji terenu,
- zliczania i wykrywania osób i zwierząt,
- badania jakości środowiska,
- transportu niewielkich ładunków,
- ochrony zdrowia i życia ratowników,
- monitorowanie i obserwacja elementów konstrukcyjnych
- wykrywania zagrożeń związanych z np. drapieżnikami.

Wskazano potencjalne zalety rozwiązań, (np. zmniejszenie kosztów operacyjnych, poprawę bezpieczeństwa ratowników, skrócenie czasu rozpoczęcia udzielenia pomocy. Dodatkowo określono rodzaje czujników wykorzystywanych w platformach bezzałogowych oraz ich przydatność dla różnych służb.
Wnioski: Obecnie na świecie istnieje wiele różnych konstrukcji platform bezzałogowych, których można użyć dla ochrony ludzkiego zdrowia i mienia. Aktualnie w Polsce pojazdy bezzałogowe są wykorzystywane przez służby mundurowe w nieznacznym stopniu poza wojskiem i Strażą Graniczną). Może wynikać to z niedoborów kadrowych (mała liczba operatorów), braku odpowiedniej autonomiczności pojazdów, braków sprzętowych lub braku odpowiedniego przeszkolenia u operatorów. Należy się jednak spodziewać, że w dobie miniaturyzacji czujników i komponentów, możliwości oferowane przez statki bezzałogowe będą coraz większe, a konstrukcje tego typu coraz częściej wykorzystywane w różnych służbach. Najprawdopodobniej jako pierwsze będą wprowadzane bezzałogowe pojazdy latające, obecnie najbardziej rozpowszechnione. U podstaw ich popularności leży zapewne znaczne zautomatyzowanie, pozwalając na bardzo dokładny podgląd sytuacji, przy jednoczesnym użyciu innych funkcji, takich jak. monitorowanie zagrożeń chemicznych rozpylonych w powietrzu. Niewątpliwie wartością dodaną wpływającą na coraz powszechniejsze użycie bezzałogowych pojazdów jest możliwość podjęcia działań szybciej niż w przypadku akcji z wykorzystaniem ratowników (np. poprzez dostarczenie w okolicę topiącej się osoby koła ratunkowego lub tratwy). Takie zastosowanie urządzenia na pewno zwiększałoby szanse na powodzenie akcji ratowniczej.
Słowa kluczowe: bezzałogowa platforma, dron, ratownictwo, zdolności ratownicze, bezzałogowy statek, BS, czujnik
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 22.07.2018; Zrecenzowany: 24.09.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;
Identyfikatory ORCID autorów: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;
Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 126–136, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.9;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The purpose of this article is to present the possibilities and solutions of using unmanned vehicles (UV) in uniformed services. The authors presented various solutions used across the world, discussing their potential use depending on their operating environment.
Nowadays, designing unmanned vehicles, both amateur and professional, is becoming increasingly popular. They are used mainly in amateur media applications, for video shooting and photography. Despite the widespread use of unmanned vehicles, they are rarely employed by uniformed services. This article presents various possibilities of using unmanned vehicles, for example:

- observation of the area,
- counting and detecting people and animals,

- environmental quality testing,
- transport of small loads,
- protection of the health and life of rescuers,
- Monitoring of construction elements,
- detection of threats related to e.g. predators,

pointing to the potential advantages of various solutions, such as reducing costs, improving the safety of rescuers or reducing the time to intervention. In addition, the types of sensors used in unmanned vehicles and their suitability for various services were identified.
Globally, there is a great diversity of designs of unmanned vehicles with potential applications in protecting human health and property. Currently in Poland, the adoption of unmanned vehicles in the uniformed services is rather limited (with the exception of the Armed Forces and the Border Guard). This situation may result from staff shortages, inadequate vehicle autonomy, equipment shortages or the unavailability of appropriate operator training. It should be expected, however, in the era of sensor and component miniaturisation, that the possibilities offered by unmanned vehicles will be increasing, and various designs will find more and more applications in various services. Most likely, the first to be introduced will be unmanned aerial vehicles, because they are already the most widespread. Largely automated, they can be used to obtain a very accurate view of the situation and provide other functions, such as monitoring chemical threats sprayed into the air. Undoubtedly, the added value leading to the increasingly common use of unmanned vehicles is their ability to react more quickly than human rescuers (e.g. by providing a lifebuoy or a raft to a drowning person). Such use of unmanned vehicles would certainly boost the chances of survival of the person being rescued while helping the rescuer to provide effective assistance.

Keywords: usage of unmanned vehicles, drone security appliance, unmanned vehicle rescue abilities, unmanned vehicle rescue abilities, unmanned vehicle possibilities, sensors mounted on a drone, drone sensors
Type of article: review article

Received: 22.07.2018; Reviewed: 24.09.2018; Accepted: 05.11.2018;
Authors' ORCID IDs: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;
The authors contributed equally to this article;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 126–136, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.9;
This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: Целью статьи является представление возможности использования беспилотных платформ и решений, используемых с их участием, которые могут применяться в службах оказания помощи. Также были определены типы датчиков, которые используются на беспилотных платформах и их польза для различных служб.
Введение: В настоящее время все чаще мы занимаемся строительством беспилотных летательных аппаратов, как любительских, так и профессиональных. Они используются главным образом в средствах массовой информации и аматорами – для съемки фильмов и фотосъемки. Несмотря на широкое распространение беспилотных платформ, они редко используются в качестве оборудования в спасательных службах. В статье представлены возможности использования беспилотных летательных аппаратов, например, для:
- наблюдения за участком,
- подсчета и обнаружения людей и животных,
- изучения состояния окружающей среды,
- транспортировки небольших грузов,
- защиты здоровья и жизни спасателей,
- мониторинга и наблюдения за элементами конструкций
- обнаружения угроз, связанных с, например, хищниками.

Были указаны потенциальные преимущества решений (например, снижение эксплуатационных расходов, повышение безопасности спасателей, сокращение времени начала оказания помощи). Кроме того, были определены типы датчиков, используемых на беспилотных платформах, и их пригодность для различных служб.
Выводы: В настоящее время существует множество различных конструкций беспилотных платформ в мире, которые могут быть использованы для защиты здоровья и имущества. В настоящее время в Польше беспилотные летательные аппараты используются спасательными службами вне армии и пограничной охраны в незначительной степени. Это может быть вызвано нехваткой персонала (небольшое количество операторов), отсутствием адекватной автономии транспортных средств, нехваткой оборудования или отсутствием соответствующей подготовки операторов. Однако следует ожидать, что в эпоху миниатюризации датчиков и компонентов возможности, которые предоставляют беспилотные аппараты, будут увеличиваться, и такие конструкции все чаще будут использоваться в различных службах. Скорее всего, первыми будут использоваться беспилотные летательные аппараты, которые в настоящее время наиболее распространены. В основе их популярности, вероятно, лежит высокая автоматизация, позволяющая очень точно запрограммировать ситуации, при использовании других функций, таких как, мониторинг химических угроз, распыляемых в воздухе. Несомненно, к этому добавляется еще одно преимущество, влияющее на все более широкое использование беспилотных транспортных средств, - это способность действовать быстрее, чем в случае действий с использованием спасателей (например, быстрая доставка спасательного круга или плота утопающему человеку). Такое использование устройства, несомненно, увеличит шансы на успех спасательной операции.

Ключевые слова: беспилотная платформа, дрон, служба спасения, спасательная способность, беспилотный аппарат, BS, датчик
Вид статьи: обзорная статья

Принята: 22.07.2018; Рецензирована: 24.09.2018; Одобрена: 05.11.2018;
Идентификаторы ORCID авторов: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;
Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 126–136, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.9;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Wstęp

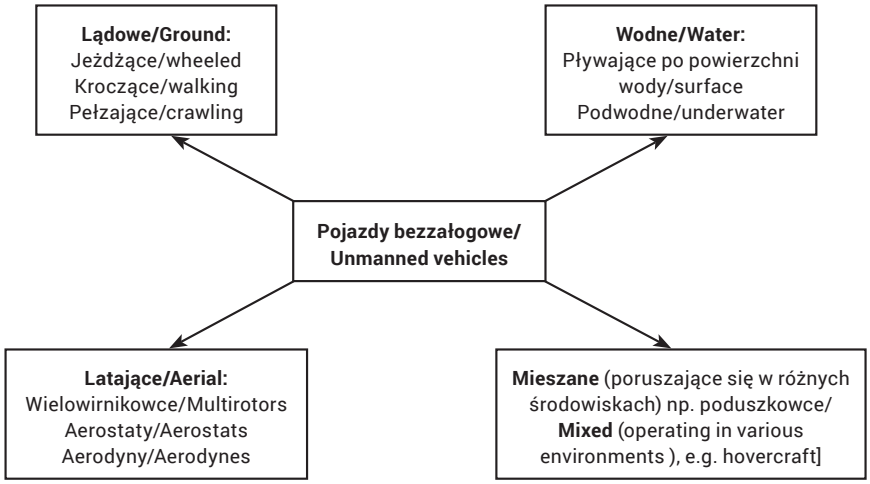
Platformy bezzałogowe odgrywają coraz większą rolę w naszym życiu [1, 2, 3]. Pojazdy te – dzięki zastosowaniu w nich różnych czujników i kamer – mogą stać się niezwykle przydatne wśród różnych służb, zarówno mundurowych [2, 4, 5], jak i cywilnych [6, 7, 8]. W pierwszej części artykułu pokazano, że stosowanie UV (ang. *Unmanned Vehicle*) może w znacznym stopniu wpłynąć na zwiększenie bezpieczeństwa obsługi, skrócenie czasu transportu i ograniczenie kosztów akcji ratowniczej. Trzeba jednak pamiętać, że powierzenie pilotowania takich obiektów osobom nieprzeszkolonym lub amatorom może spowodować bardzo duże zagrożenie zarówno dla ratowników, jak i osób postronnych. W szczególnych przypadkach obecność pojazdów bezzałogowych może uniemożliwić prowadzenie działań ratowniczych.

Podział platform bezzałogowych można przeprowadzić z uwzględnieniem wielu aspektów, jednak najczęściej dotyczy on środowiska, w jakim dany pojazd pracuje [9, 10]. Taki podział, wraz z najczęściej wykorzystywanymi konstrukcjami pojazdów bezzałogowych, został zaprezentowany na rycinie 1.

Introduction

Unmanned vehicles play an increasingly important role in our lives [1, 2, 3]. These vehicles, owing to a variety of sensors and cameras they employ, can become extremely useful for various services, both uniformed [2, 4, 5] and civilian [6, 7, 8]. The first part of the article demonstrates that the use of unmanned vehicles (UV) may significantly contribute to improved safety levels, reduced transport time and lower rescue operation costs. It should be remembered, however, that entrusting the task of controlling such vehicles to untrained individuals or amateurs may result in a very serious hazard to both rescuers and third parties. In highly specific situations, the presence of unmanned vehicles may render rescue actions impossible.

Unmanned vehicles may be divided using a number of aspects, but the most frequently used breakdown is by operating environment [9, 10]. This classification, combined with a list of the most popular unmanned vehicles, is presented in Fig. 1.



Rysunek 1. Podział pojazdów bezzałogowych ze względu na środowisko pracy (opracowanie własne)
Figure 1. Classification of unmanned vehicles by operating environment (own elaboration)

Podziału pojazdów bezzałogowych można także dokonać ze względu na jego zautomatyzowanie. Stosowane pojazdy mogą być:

- w pełni autonomiczne, czyli niepotrzebujące kontroli operatora, wykonujące z góry zaplanowaną misję i zadania samodzielnie,
- automatyczne, gdzie część zadań (np. kontrola jakości powietrza) jest wykonywana automatycznie, jednak pojazd musi być ciągle zdalnie sterowany przez operatora,
- zdalne, gdzie wszystkie czynności związane z lotem i celami, jakie należy osiągnąć są wykonywane zdalnie przez operatora.

Pojazdy bezzałogowe mogą być stosowane do wielu zadań [2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12]. Ich możliwości i funkcje są w znacznym stopniu zależne od osprzętu zamontowanego na samej platformie, w mniejszym zaś stopniu od jej osiągów (np. szybkość poruszania, czas działania).

Unmanned vehicles can also be divided by the degree of automation. UVs can be:

- fully autonomous, requiring no operator, performing a predetermined mission and tasks independently,
- Automatic, where most tasks (such as air quality control) are performed autonomously, but the vehicle requires constant remote control by the operator,
- Remote-controlled, where all flight- and target-related tasks to be performed are remotely controlled by the operator.

Unmanned vehicles can be used for a variety of tasks [2, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12]. Their capabilities and functions largely depend on the gear they carry and, to a lesser extent, on their performance (speed, operating time).

ISSN 1895-8443

Wykorzystanie bezzałogowych platform
Pojazdy bezzałogowe latające

Najpopularniejszym obecnie zastosowaniem bezzałogowców jest obserwacja lub skanowanie zadanego obszaru. Dotyczy to głównie pojazdów powietrznych, ale również lądowych i – w mniejszym stopniu – wodnych. Ciągle rozwijająca się technika oraz rynkowa konkurencja specjalistycznych firm pozwoliła na wytworzenie lekkich kamer, posiadających wysoką rozdzielczość i różne kąty widzenia (przeważnie do 170°). Dzięki niewielkiej masie oraz małemu poborowi prądu modułu wizyjnego jego zainstalowanie na platformie nie powoduje znacznego ograniczenia zasięgu i czasu działania pojazdu, pozwalając mu na obserwację otoczenia i transmisję danych bardzo dobrej jakości. Obecnie moduł kamery o rozdzielczości 5 Mpx jest dostępny już za około 100 zł, chociaż są też modele o dużo lepszych parametrach, których koszt przekracza 6 000 zł. Wykorzystanie pojazdów bezzałogowych (głównie latających) do rozpoznania terenu jest nie tylko tańsze, ale także dające w efekcie bardziej szczegółowe dane (dokładność 5 cm w porównaniu do obrazu satelitarnego o dokładności 50 cm) [13]. Podczas akcji ratowniczych pozwala to na zdobycie lepszych jakościowo informacji i ułatwia podjęcie właściwych decyzji. Różnice pomiędzy powyższymi metodami obrazują zdjęcia poniżej (ryc. 2).

Use of unmanned vehicles
Unmanned aerial vehicles

Currently the most popular application of unmanned vehicles is observation or scanning of the assigned area. This mainly relates to aerial, but also ground vehicles, and, to a lesser extent, marine vehicles. The constantly developing technology and market competition among specialised companies led to the development of lightweight high-resolution cameras with various fields of view (usually up to 170°). Thanks to the low weight and energy consumption of the camera module, its installation on the vehicle does not cause significant reduction in range and operation time of the vehicle, allowing it to observe the environment and transmit very high quality data. Today, 5 MP camera modules are available for about PLN 100, although there are also modules which offer much better performance costing more than PLN 6,000. The use of unmanned vehicles (mainly aerial) for reconnaissance is not only less expensive, but also provides more detailed data (5 cm precision in comparison to satellite view with 50 cm precision) [13]. During rescue operations this allows obtaining higher-quality data and facilitates making the correct decisions. The differences between the said methods are demonstrated by the photographs below (Fig. 2)

Rycina 2. Porównanie jakości zdjęć satelitarnych (po lewej), i zrobionych za pomocą pojazdu bezzałogowego (prawa strona) na przykładzie Tanzanii [13]

Figure 2. Comparison of the quality of satellite imagery (left) and images taken using an unmanned vehicle (right side) on the example of Tanzania [13]

Interesujące zastosowanie latających pojazdów bezzałogowych zostało przedstawione w trakcie jednej z konkurencji podczas tegorocznego „Poligonu systemów bezzałogowych. Droniada 2018", polegającej na dostarczeniu niewielkiego pojemnika z symulowanym lekarstwem we wskazane miejsce [14]. Taka transportowa funkcja bezzałogowych pojazdów latających może być z powodzeniem wykorzystana podczas klęsk żywiołowych, np. powodzi (rycina 3). W tym przypadku pojazdy bezzałogowe z powodzeniem mogłyby dostarczać paczki (np. z lekami) na dachy budynków dla osób najbardziej potrzebujących, dodatkowo zliczając osoby w poszczególnych lokalizacjach. Pozwoliłoby to na zmniejszenie kosztów związanych z akcją i znaczne przyspieszenie niesienia pierwszej pomocy, dając jednocześnie ważne informacje o aktualnych miejscach przebywania potrzebujących oraz przybliżonej liczbie osób, które wymagają ewakuacji.

An interesting use of unmanned aerial vehicles was presented during one of the events at this year's "Droniada 2018" – a competition for unmanned systems, which involved transporting a small container with a simulated medicine to a designated location [14]. This transport function of UAVs can be successfully used during natural disasters, e.g. floods (Fig. 3). In this case, unmanned vehicles would be well-prepared to deliver parcels (e.g. containing medical supplies) to roofs for those who need them the most, while counting the individuals present at various locations on the way. This would bring cost reductions related to the operation and faster first aid intervention, at the same time providing important data on the current whereabouts of the people to be rescued and the approximate number of people who need to be evacuated.

Rycina 3. Ludzie oczekujący na pomoc w trakcie powodzi w Opolu w 1997 r. [15]
Figure 3. People waiting for help during the flood in Opole in 1997 [15]

Bardzo interesujące wydaje się zastosowanie powietrznych pojazdów bezzałogowych w leśnictwie [11]. Wśród najciekawszych zastosowań należy wymienić:

- obserwację migracji zwierząt,
- lokalizację i tropienie kłusowników,
- szczepienie zwierząt,
- wykrywanie martwych drzew,
- badanie wilgotności ściółki.

Szczególnie dwa ostatnie aspekty mogą zostać wykorzystane przez Państwową Straż Pożarną (PSP) podczas określania obszarów o podwyższonym ryzyku wystąpienia pożaru oraz – w przypadku, gdy dojdzie do pożaru – do prognozowania jego kierunku rozchodzenia się. Takie zastosowanie bezzałogowych statków powietrznych pozwoliłoby z jednej strony na bardziej precyzyjne określenie ryzyka pożarowego (przy stosunkowo niskich kosztach), a z drugiej – gdy pożar już wystąpi – na skuteczniejsze rozstawienie jednostek strażackich (co z kolei ograniczyłoby ryzyko ponoszone przez strażaków w trakcie akcji).

Innym możliwym zastosowaniem latających pojazdów bezzałogowych jest monitorowanie zanieczyszczeń środowiska [12]. Poprzez zastosowanie czujników laserowych można sprawdzać ilość oraz wielkość zanieczyszczeń stałych, natomiast za pomocą czujników związków chemicznych można określić skład oraz stopień toksyczności powietrza. Flota tak wyposażonych pojazdów dostarczałaby bardzo istotnych w dzisiejszych czasach informacji dotyczących zanieczyszczenia powietrza, szczególnie w dużych miastach. Obecnie, ze względu na znikome wykorzystanie bezzałogowych statków powietrznych w służbach mundurowych, ciężko jest określić, czy podobny monitoring lub wyznaczenie zasięgu strefy niebezpiecznej okazałby się pomocny podczas akcji gaszenia pożarów śmieciowisk lub pożarów lasów w Szwecji przez polskich strażaków (2018 r.). W tym przypadku należałoby zwrócić szczególną uwagę na możliwości, parametry techniczne sprzętu i sensorów wedle ich odporności na gorące gazy spalinowe , a także sprawdzić procedury ich użycia – zwłaszcza w zakresie użytkowania w przestrzeni, gdzie pracują załogowe statki powietrzne.

Dodatkowo pojazdy bezzałogowe mogą być przystosowane do pobierania próbek, w celu późniejszej weryfikacji otrzymanych

There are very interesting potential uses of unmanned aerial vehicles in forestry [11]. The most promising applications include:

- observing animal migrations,
- locating and tracking poachers,
- vaccination of animals,
- detecting dead trees,
- studying litter humidity.

The two last aspects may prove particularly useful for State Fire Service (PSP) when specifying the areas with increased fire hazard and – if the fire has already started – when trying to predict its expansion. Such uses of unmanned aerial vehicles would allow, on the one hand, to more accurately identify the fire hazard (at a relatively low cost) and, on the other, when there is a fire, to more effectively deploy firefighter units (which would, in turn, reduce the risk taken by firefighters during the operation).

Another potential application of unmanned aerial vehicles is for environmental pollution monitoring [12]. Laser sensors can be used to detect the amount and size of solid contaminants, and chemical compound sensors allow the identification of the composition and toxicity of the air. A fleet of vehicles featuring such equipment would provide information regarding air pollution, which is very important these days, particularly in big cities. Currently, due to the very limited adoption of unmanned aerial vehicles in uniformed services, it is very difficult to determine whether such monitoring or delimitation of a dangerous areas would prove helpful in firefighting operations at landfill sites or during forest fires such as those in Sweden, which involved the participation of Polish firefighters (2018). In this case, particular attention should be paid to the capabilities and technical parameters of equipment and sensors, in the aspect of their resistance to hot flue gases and operation procedures, especially as to the use of space in which unmanned aerial vehicles operate.

Furthermore, unmanned vehicles can be adapted to collect samples for later verification in the lab. Fig. 4 shows an example view of a "flying lab." The measuring lance on the multi-propeller aerial vehicle was extended outside the area of influence of

przez nie wyników w laboratorium. Na rycinie4 został przedstawiony przykładowy widok takiego „latającego laboratorium". Lanca pomiarowa na wielowirnikowcu została wysunięta poza obszar wpływu śmigieł, tak aby strugi powietrza wywołane pracą śmigieł nie powodowały zakłóceń pomiarowych.

the propellers, to prevent measurement distortions caused by the air streams from their operation.

Rycina 4. Pojazd bezzałogowy DR 1000 posiadający możliwość poboru próbki powietrza oraz pomiaru stężenia takich związków jak np. CH_4,CO_2, H_2S, SO_2 , oraz ilości cząsteczek PM 1, 2,5 i 10 [16]

Figure 4. Unmanned vehicle DR 1000m which can take an air sample and measure the concentration of such compounds as e.g. CH_4, CO_2, H_2S, SO_2, and the amount of PM 1, 2.5 and 10 particles [16]

Kolejnym ciekawym zastosowaniem pojazdów bezzałogowych jest obserwacja wybrzeża w celu wykrywania rekinów i innych drapieżników oraz ostrzeganie przed nimi. (rycina 5). Takie rozwiązanie o nazwie „Little Ripper" ma zostać wprowadzone nad plażami w Australii [17, 18]. Bezzałogowy helikopter z kamerą, dzięki zastosowaniu algorytmów sztucznej inteligencji, jest w stanie wykryć rekina z 90% dokładnością i zasygnalizować zaistniałe zagrożenie [18, 19]. W założeniu projekt ma na celu zredukowanie liczby osób zaatakowanych przez morskie drapieżniki.

Another interesting application of unmanned vehicles is coastal observation to detect sharks and other predators and issue appropriate warnings (Fig. 5). A solution of this type, known as "Little Ripper" is planned to be introduced over Australia's beaches [17, 18]. An unmanned helicopter with a camera uses artificial intelligence to detect a shark with 90% accuracy and report the danger [18, 19]. The project is aimed at reducing the number of marine predator attacks on people.

Rycina 5. Zdjęcie,na którym algorytm rozpoznał dwa obiekty jako rekiny i jeden obietk jako surfera [19]

Figure 5. A picture in which the algorithm recognised two objects as sharks and one object as a surfer [19]

Kolejnym zastosowaniem bezzałogowych pojazdów latających w okolicach kąpielisk jest ich wykorzystanie do dostarczania w pobliże tonącej osoby koła lub tratwy ratowniczej. Taki pojazd pokonuje odległość pomiędzy ratownikiem a ratowanym dużo szybciej niż ratownik jest w stanie ją przepłynąć. ją Zwiększa to szanse tonącego na dłuższe utrzymanie się na powierzchni wody. Wprowadzenie pojazdu w sposób ciągły patrolującego wybrzeże, potrafiącego na podstawie zachowania wykryć osobę potrzebującą pomocy i zrzucić tratwę ratowniczą

Another application for unmanned aerial vehicles around bathing sites is to provide life buoys or rafts near a drowning person. Such a vehicle can cover the distance between the lifeguard and the person to be rescued much faster than the lifeguard can swim. This increases the chances of the drowning person to stay afloat until help arrives. Introducing a vehicle which continuously patrols the coast and is able to detect the person that needs help based on their behaviour and to drop the raft, would greatly increase the safety of people spending

znacznie zwiększyłoby bezpieczeństwo osób wypoczywających nad wodą. Podobne rozwiązanie oferuje aktualnie polska firma Spartaqs w produkcie Helidrone. Nad rozwiązaniem tego typu pracował także polski Drone Lab.

their leisure time at the seaside. A similar solution is currently being marketed by the Polish company Spartaqs in its Helidrone product. The Polish Drone Lab has also been working on a similar solution.

Rycina 6. Helidrone firmy Spartaqs z podczepioną tratwą ratowniczą. Czas lotu Helidrone wynosi 40 minut, zasięg to 2500 m, maksymalny pułap to 1500 m [20]

Figure 6. Helidrone by Spartaqs with an attached raft. The flight time of Helidrone is 40 minutes, the range is 2500 m, the maximum elevation is 1500 m [20]

Źródło: Archiwum własne.

Source: Own archives.

Pojazdy bezzałogowe lądowe

Znaczącą zaletą pojazdów (platform) lądowych w porównaniu do konstrukcji latających jest dłuższy czas operacyjny, wynikający z braku konieczności przeciwdziałania sile ciężkości i ciągłej pracy silników, jak ma to miejsce np. w przypadku latających wielowirnikowców. Również z tego powodu mogą one osiągać dużo większe rozmiary, co pozwala na zainstalowanie większych magazynów energii o wyższej pojemności oraz większej liczby czujników i elementów wykonawczych (jak np. manipulatory).

Konstrukcja tego typu rzadko znajduje zastosowanie w ratownictwie, w miejscach, gdzie występuje zagrożenie życia lub zdrowia ratownika. Dobrym przykładem może być użycie tego typu robotów w 2011 r. po awarii elektrowni atomowej w Fukushimie w Japonii. Oczujnikowane i zabezpieczone przed promieniowaniem roboty Monirobo przekazały informacje o stanie konstrukcji i konsekwencjach awarii w miejscach, gdzie poziom promieniowania radioaktywnego nie pozwalał na wprowadzenie ludzi [21, 22].

Unmanned ground vehicles

An important asset of ground vehicles (systems) in comparison to aerial vehicles is their longer operating time since there is no need for counteracting the pull of gravity and constantly running the engines, as in multi-propeller aerial vehicles. This is also the reason why they can be much larger, which allows installing higher-capacity energy storage, more detectors and actuators (e.g. manipulators).

Structures of this type find very limited application in rescue operations, where the rescuer's life or health could be at risk. A good example can be the use of such robots in 2011 following the failure of the nuclear power plant in Fukushima, Japan. Equipped with sensors, the radiation-resistant Monirobo robots provided information on the condition of the structure and the consequences of the failure in places where radiation levels were too dangerous for people [21, 22].

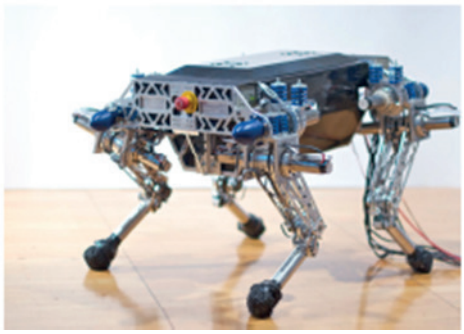
Rycina 7. Monirobo – japoński pojazd wykorzystany do pomocy w trakcie usuwania awarii elektrowni atomowej w Fukushimie [23]

Figure 7. Monirobo – a Japanese vehicle to assist in the recovery following the Fukushima nuclear power plant disaster [23]

ISSN 1895-8443

Innym zastosowaniem bezzałogowych pojazdów w ratownictwie może być pomoc w przenoszeniu ładunków w trudnym terenie. Tego typu konstrukcja została przedstawiona przez Boston Dynamics. Czworonożny robot kroczący o nazwie Spot, przystosowany jest do poruszania się w trudnym terenie (ryc. 8). Przy masie własnej 75 kg jest w stanie przenosić ładunek o masie 23kg przez 45 minut. Pozwala to na pomoc przy przenoszeniu ciężkiego sprzętu bez obciążania ratownika.

Another application of unmanned vehicles in rescue can be to assist in carrying loads in difficult terrain. A robot of this type has been presented by Boston Dynamics. The four-legged walking robot, named Spot, is adapted to movement in a difficult terrain (Figure 8). With the unladen weight of 75 kg, it can carry loads of up to 23 kg for 45 minutes. This would be enough for carrying heavy equipment without putting the burden on the rescuer.



Rycina 8. Robot kroczący [24]
Figure 8. Walking robot [24]

Bezzałogowe pojazdy lądowe są obecnie wykorzystywane w działaniach militarnych do wykonywania rozpoznania oraz do zadań prowadzonych przez saperów [4, 5, 10, 25]. Jeśli chodzi o wykrywanie innych obiektów, ten typ pojazdów prezentuje gorsze warunki optyczne w porównaniu do pojazdów latających, głównie ze względu na ograniczanie wizji poprzez ukształtowanie terenu i przeszkody. Może za to patrolować dany obszar przez dużo dłuższy czas. Dodatkowo należy zwrócić uwagę, że pojazdy te w celu osiągnięcia większych prędkości poruszania się muszą korzystać z gotowych dróg i korytarzy, które nie zawsze bezpośrednio łączą się z punktem docelowym– niejednokrotnie wręcz kolidują z drogami komunikacyjnymi wykorzystywanymi przez człowieka.

Unmanned ground vehicles are currently finding applications in military operations for reconnaissance and military engineering tasks [4, 5, 10, 25]. As far as detecting other objects is concerned, this type of vehicle has worse visual capabilities in comparison to aerial vehicles, mainly due to the limitations caused by the features of the terrain and obstacles. However, it can patrol a given area for a much longer period of time. It should also be pointed out that, to achieve greater movement speeds, ground vehicles need roads and corridors, which not always lead to the target and often overlap with transport routes used by the population.

Bezzałogowe pojazdy wodne i podwodne

Początek historii wodnych pojazdów (platform) bezzałogowych jest trudny do określenia i sięga – w zależności od źródła – XVIII lub XIX wieku [26, 27, 28]. Pomimo tak długiego czasu od powstania pierwszych konstrukcji dopiero teraz następuje ich coraz szybszy rozwój. Motorem rozwoju stała się miedzy innymi zakończona sukcesem akcja ratunkowa załogi zatopionego batyskafu z 1973 r., czy też ułatwiona obserwacja wraków statków (np. Titanica z 1985 r.) [26, 27]. Platformy te obecnie mogą z powodzeniem skanować dna rzek i jezior w poszukiwaniu ludzi, w znacznym stopniu ograniczając koszty i ryzyko związane z wykorzystaniem nurków. Poza tym świetnie nadają się do wszelkiego rodzaju inspekcji podwodnych elementów budowlanych jak grodzie, śluzy czy rurociągi. Dodatkowo mogą sprawdzać stan środowiska oraz informować o ewentualnym rodzaju i miejscu wystąpienia zanieczyszczenia. Wodne pojazdy bezzałogowe znalazły też zastosowanie w wojsku. Używa się ich do wykrywania, rozbrajania i detonacji min morskich, wykrywania łodzi podwodnych oraz rozpoznania terenu. Ze względu na budowę najczęściej spotykane są modele wzorujące się na

Unmanned surface and underwater vehicles

The beginnings of surface and underwater vehicles are difficult to define and go back, depending on the source, to the 18th or 19th century [26, 27, 28]. Although a long time has passed since the first structures of this type were invented, their development has gathered pace only recently. Some of the driving forces behind this growth were the successful rescue of the crew of a trapped submersible in 1973 and the efforts to facilitate the observation of shipwrecks (such as the Titanic in 1985) [26, 27]. These systems are currently capable of scanning river and lake beds to search for humans and greatly reduce the costs and risk associated with using divers. Moreover, they are very well suited to all types of inspections of underwater structural elements such as bulkheads, sluices or pipelines. They can also identify the condition of the environment and report on the potential type and location of an encountered pollutant. Unmanned marine vehicles have also found application in the military sector. They are used to detect, disarm and detonate naval mines, detect submarines and perform reconnaissance operations. In terms of structure, the most common models are

konstrukcji wielowirnikowcach lub naśladujące budowe organizmów morskich (bioniczne).

Największy problemem w odniesieniu do maszyn podwodnych jest związany z ustalaniem ich położenia. W środowisku wodnym praktycznie nie działają sygnały GPS, a dodatkowo środowisko to jest na tyle nieprzejrzyste, że zastosowanie kamer pozwala na widoczność sięgającą zaledwie kilku metrów. Z tego powodu pojazdy te muszą się posługiwać innymi metodami do określenia swojego położenia np. na podstawie sonaru lub połączonych pomiarów z magnetometru, akcelerometru i żyroskopu. Niestety wymienione metody wprowadzają stale zwiększający się błąd nawigacji zliczeniowej, powodując problem z dokładną nawigacją pojazdu. Problem ten nie występuje w przypadku pojazdów poruszających się po powierzchni wód. Pojazdy wodne mogą zostać wykorzystane do sprawdzania aktualnego stanu środowiska, monitorowania obszaru, ale również do dostarczenia np. koła ratowniczego w okolicę osoby potrzebującej pomocy.

Wnioski

Jak przedstawiono powyżej, istnieje szerokie pole do zastosowania bezzałogowych pojazdów zarówno w służbach mundurowych, jak i cywilnych. Największym zainteresowaniem cieszą się kolejno: platformy latające, lądowe, a dopiero na końcu podwodne. Tym niemniej w każdym obszarze pojazdy bezzałogowe mogą wspierać pracę i wpływać na bezpieczeństwo użytkowników. Użyteczność tych pojazdów do celów ratowniczych w głównej mierze zależy od ich wyposażenia pomiarowego i pozyskanych za ich pomocą danych (np. w celu wykonania ortofotomapy, modelu 3D terenu), w mniejszym stopniu od osiągów samej platformy. Pod kątem wykorzystania pojazdów bezzałogowych w ratownictwie znaczące są również zasięg oraz szybkość ponownej gotowości do zadania (np. po rozładowaniu się akumulatorów). Docelowo autonomiczna praca platform może prowadzić do ich masowego użytkowania w służbach porządku publicznego i bezpieczeństwa.

W dobie miniaturyzacji czujników i komponentów możliwości oferowane przez statki bezzałogowe są coraz większe, zdecydowanie wykraczające poza ramy samego monitorowania terenu i miejsca akcji ratowniczej. Obecnie pojazdy bezzałogowe potrafią identyfikować obiekty, mogące stanowić stwarzać zagrożenie oraz informować o tym zagrożeniu. Mogą także przenosić małe ładunki. Wyposażone w odpowiednie czujniki wykonują szybkie badanie składu i jakości środowiska, w jakim się znajdują – nawet w trudno dostępnych miejscach – bez narażania ratowników na działanie niebezpiecznych substancji. Takie monitorowanie składu atmosfery mogłoby się sprawdzić np. podczas długotrwałych akcji gaśniczych jak pożary śmieciowisk w 2018 r. W trakcie takich akcji strażacy, rotując się, wypoczywają w strefie o – niejednokrotnie – nie do końca zbadanych właściwościach powietrza. Zastosowanie dronów z odpowiednimi sensorami może znacząco poprawić bezpieczeństwo pracy ratowników.

Bardzo ważną funkcją bezzałogowych pojazdów jest możliwość podjęcia działań szybciej niż ratownik, poprzez

those based on multi-propeller solutions or reflecting the functioning of maritime organisms (bionic).

The biggest problem in relation to underwater vehicles is connected with determining their location. GPS signal is not available underwater and such environments provide very limited visibility, so that cameras allow to see only a few metres away. For this reason, such vehicles must use other methods of determining location, e.g. using a sonar or combined magnetometer, accelerometer and gyroscope measurements. Unfortunately, these methods introduce a constantly increasing dead reckoning error, causing problems with the accurate navigation of the vehicle. This problem is not present for surface vehicles. Both surface and underwater vehicles can be used to determine the status of the environment or monitor an area, but also to provide e.g. a life buoy near a person who needs help.

Conclusions

As demonstrated above, there is a wide range of applications for unmanned vehicles both in uniformed and civilian services. By order of popularity, these are aerial, ground and underwater vehicles. Still, in every area, unmanned vehicles can facilitate the work and improve the safety of users. Their usefulness for rescue purposes largely depends on their measuring equipment and the data obtained from it (e.g. to create an orthophotomap or a 3D terrain model), less on the performance of the vehicle itself. For using unmanned vehicles in rescue operations, their range and recovery time (e.g. after draining the battery) are also significant. As a target, the autonomous operation of unmanned vehicles may lead to their mass use in law enforcement and emergency services.

In the times when sensors and components are miniature, the opportunities provided by unmanned vehicles are increasing and involve a far greater range of applications than terrain and rescue location monitoring. Today's unmanned vehicles can identify objects which could cause potential threat and report such threats. They can also carry small loads. When equipped with appropriate sensors, they can quickly analyse the composition and quality of the environment they are operating in – even in hard-to-reach places – eliminating the need to expose rescuers to hazardous substances. Such monitoring of the atmosphere's composition might prove useful e.g. in long firefighting operations such as the landfill fires in 2018. During such operations, firefighter teams operate in turns, resting in an area where air quality has not been tested. Using UAVs with appropriate sensors can significantly increase the safety at work of rescuers.

A very important function of unmanned aerial vehicles is their ability to act faster than a rescuer would, by providing a life buoy or raft near a drowning person. This would definitely boost the chances of providing effective help.

Unmanned vehicles equipped with thermal imaging cameras and visible light cameras are increasingly often used to support the process of searching for missing people. Recently,

 ISSN 1895-8443

dostarczenie np. w okolicę topiącej się osoby koła ratunkowego lub tratwy. Takie zastosowanie urządzenia na pewno zwiększałoby na skuteczne udzielenie pomocy.

Bezzałogowce wyposażone w kamery termowizyjne i kamery światła widzialnego coraz częściej wspierają proces poszukiwań zaginionych ludzi. W ostatnim czasie drony zostały wykorzystywane (co prawda, bez skutku) do wsparcia poszukiwań pytona zaginionego w okolicach Warszawy.

Zastosowanie pojazdów bezzałogowych jest również zasadne w służbach mundurowych i cywilnych, ze względu na możliwość sprawdzenia miejsc niedostępnych dla ratownika (np. wewnątrz zagrożonego zawaleniem budynku) lub tych, które mogły zostać skażone w stopniu niepozwalającym na przebywanie w nich ratownika. Możliwe jest wówczas zweryfikowanie stanu konstrukcji lub obecności osób poszkodowanych bez narażania zdrowia i życia ratowników.

Biorąc pod uwagę obecny stan techniki oraz możliwości, jakie oferują bezzałogowe pojazdy, coraz powszechniejsze wykorzystywanie ich przez służby ratownicze i porządkowe wydaje się procesem, który będzie stale postępował. Niebagatelną role odgrywają tu korzyści związane z ułatwieniami przy organizacji ćwiczeń i akcji ratowniczych czy porządkowych, ograniczenie kosztów, jak i ochrona zdrowia i życia ratowników jak i ratowanych.

UAVs were used (though unsuccessfully) to support the search for the python lost near Warsaw.

The use of unmanned vehicles is also important in uniformed and civilian services, as they allow to inspect places unreachable for the rescuer (e.g. inside a building which might collapse) or those that may have been contaminated to an extent preventing the rescuer from entering. In such situations, it can verify the condition of the structure and the presence of people without jeopardising the live and health of the rescuers.

Taking into account the current state of the art and the opportunities afforded by unmanned vehicles, their more and more widespread use by emergency and law enforcement services can be seen as a process that should be gathering pace with time. The benefits connected with training and the organisation of rescue or law enforcement operations, cost reductions and the protection of health and life of both rescuers and rescuees play a huge role in this process.

Literatura

[1] Tuśnio N., Nowak A., Tuśnio J., Wolny P., *Bezzałogowe statki powietrzne w działaniach Państwowej Straży Pożarnej – propozycja dedykowana Państwowej Straży Pożarnej*, „Zeszyty Naukowe SGSP" 2016, nr 58 (1)/2.

[2] Polkowski P., *Bezzałogowe statki powietrzne*, „Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego" 2016, 10, nr 1.

[3] Jinlu Han, Yaojin Xu, Long Di, YangQuan Chen, *Low-cost Multi-UAV Technologies for Contour Mapping of Nuclear Radiation Field*, "Journal of Intelligent & Robotic Systems" 2013, 70, 1–4, 401–410.

[4] Jessie Y.C.Chen, *UAV-guided navigation for ground robot tele-operation in a military reconnaissance environment*, "Ergonomics"2010, 53, 8, 940–950.

[5] D. Prior S., Siu-Tsen Shen, S. White A., Odedra S., Karamanoglu M., Ali Erbil M., Foran T., *Development of a Novel Platform for Greater Situational Awareness in the Urban Military Terrain*, "Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics" 2009, 120–125.

[6] Hajdrowski K., *Drony w służbie energetyki*, „Energia Elektryczna", lipiec 2014.

[7] Ferenc A., Koreleska E., *Innowacje w logistycznej obsłudze pacjenta – zastosowanie dronów*, „TTS Technika Transportu Szynowego" 2015, 12, 492–496.

[8] *Drony w służbie społeczeństwa*, „Innowacje techniczne", January 18, 2016 https://iq.intel.pl/drony-w-sluzbie-spoleczenstwa/ [dostęp 20.07.2018].

[9] Hrynaszkiewicz-Ołów P., Rapkowska K., *Zastosowanie platform bezzałogowych na rzecz bezpieczeństwa pozamilitarnego*, Akademia Marynarki Wojennej im. Bohaterów Westerplatte w Gdyni, http://www.knbm.amw.gdynia.pl/wp-content/uploads/2014/12/Hrynaszkiewicz-O%C5%82%C3%B3w-Paulina-Rapkowska-Karolina-Zastosowanie-latform-bezza%C5%82ogowych-na-rzecz-bezpiecze%C5%84stwa-pozamilitarnego.pdf [dostęp: 20.07.2018].

[10] Dąbrowski M., *Przyszłość systemów bezzałogowych. W powietrzu, na lądzie i na morzu,* https://www.defence24.pl/przyszlosc-systemow-bezzalogowych-w-powietrzu-na-ladzie-i-na-morzu [dostęp: 20.07.2018].

[11] Kardasz P., Doskocz J., Kruszynski M., Kardasz E., Adamczyk M., Cienciała M., *Aspekty użytkowania dronów w leśnictwie*, „Biuletyn Naukowy Wrocławskiej Wyższej Szkoły Informatyki Stosowanej. Informatyka" 2017, 7, nr 1.

[12] Berner B., Chojnacki J., *Monitorowanie zanieczyszczeń środowiska za pomocą dronów*, „Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe" 2017, R. 18, nr 7–8.

[13] Feltynowski M., *Zastosowanie systemów bezzałogowych elementem umożliwiającym usprawnienie procesu podejmowania decyzji w zarządzaniu kryzysowym i ratownictwie*, „Security and alarm systems" 2018, 1(7).

[14] *Droniada 2018. Opis konkurencji*, http://www.5zywiolow.pl/droniada-2018-opis-konkurencji/ [dostęp: 20.07.2018].

[15] Kokot J.M.K., CC BY-SA 3.0, https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0), from Wikimedia Commons [dostęp: 30.09.2018].

[16] http://www.et.co.uk/assets/resources/files/dr1000-brochureet.pdf [dostęp: 20.07.2018].

[17] Toor A., *Shark-detecting drones take to the skies in Australia*, https://www.washingtonpost.com/video/world/shark-detecting-drones-to-patrol-australias-beaches/2017/08/25/3cc8daba-8993-11e7-96a7-d178cf3524eb_video.html?utm_term=.fd00ce38f80a [dostęp: 20.07.2018].

[18] [https://www.theverge.com/2017/8/28/16213416/drones-australia-shark-attack-ai-little-ripper [dostęp 20.07.2018].

[19] Little Ripper Lifesaver Drones Spot Sharks Electronically, film video, https://youtu.be/HltdecoGK3A [dostęp 20.07.2018].

[20] [http://www.altair.com.pl/files/special/articles/1/1015/helidron_01.jpg [dostęp: 20.07.2018].

[21] *Drones for Disaster Response and Relief Operations*, kwiecień 2015 https://www.issuelab.org/resources/21683/21683.pdf [dostęp 20.07.2018].
[22] Siciliano B., Khatib O., *Springer Handbook of Robotics*, 2016.
[23] https://www.engadget.com/2011/03/23/monirobo-measures-radiation-following-nuclear-crisis-at-japans/?guccounter=1 [dostęp 20.07.2018].
[24] Hutter M., Gehring Ch., Bloesch M., Hoepflinger M., *StarlETH: a Compliant Quadrupedal Robot for Fast, Efficient, and Versatile Locomotion*,International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR) International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR), DOI: 10.1142/9789814415958_0062 [dostęp 20.07.2018]. Fot: François Pomerleau
[25] Szopa E., *Lądowe bezzałogowe platformy rozpoznawcze. Wybrane problemy*, „Obronność – Zeszyty Naukowe Wydziału Zarządzania i Dowodzenia" 2014, 4(12).
[26] Tariov A., Kruszko S., *Bezzałogowe pojazdy podwodne: stan obecny, potencjał biznesowy, perspektywy rozwoju*, „Elektronika: konstrukcje, technologie, zastosowania" 2011, 52, 10, 148–156.
[27] Blidberg D.R., *The Development of Autonomous Underwater Vehicles (AUV); A Brief Summary.*
[28] Whitehead_torpedo, Wikimedia Commons, https://en.wikipedia.org/wiki/Whitehead_torpedo] [dostęp: 20.07.2018].

BRYG. DR INŻ. MARIUSZ FELTYNOWSKI – kierownik Centrum Systemów Bezzałogowych i Autonomicznych – Centrum Dronów. Od 2016 r. kierownik Działu Samodzielnych Ekspertów w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie. W 2016 r. ukończył studia III stopnia na Wydziale Zarządzania i Dowodzenia, Akademii Obrony Narodowej, uzyskując stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk społecznych. Specjalista w zakresie działań ratowniczych, w tym zwłaszcza problematyki działań i funkcjonowania specjalistycznych grup poszukiwawczo-ratowniczych kierowanych do działań po katastrofach budowlanych i trzęsieniach ziemi.

MGR MACIEJ ZAWISTOWSKI – absolwent wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, w latach 2013–2018 pracował w Instytucie Elektrotechniki w Międzylesiu w zakładach Systemów Pomiarowo-Diagnostycznych oraz Zakładzie Napędów Elektrycznych i sterowania. Od 2018 r. pracuje w dziale Samodzielnych Ekspertów w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie.

BRIG. ENG. MARIUSZ FELTYNOWSKI, PH.D. – manager of the Drone Centre – Centre for Unmanned and Autonomous Systems. Since 2017 manager of the Department of Independent Experts of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów. In 2016 he completed his doctoral studies at the Faculty of Management and Command of the National Defence University of Warsaw, obtaining the title of Doctor of Social Sciences. Specialist in the field of rescue operations, particularly issues related to the operations and functioning of specialised search-and-rescue teams deployed in the aftermath of construction accidents and earthquakes.

MACIEJ ZAWISTOWSKI, M.ENG. – graduated from the Faculty of Electronics of the Warsaw University of Technology, in 2013–2018 he worked at the Electrotechnical Institute in Międzylesie at the Department of Measurement and Diagnostic Systems and Department of Electric Drives and Control. Since 2018 he has worked at the Department of Independent Experts of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

CENTRUM DRONÓW
CENTRUM SYSTEMÓW BEZZAŁOGOWYCH I AUTONOMICZNYCH

CNBOP-PIB

OFERUJEMY USŁUGI W ZAKRESIE:

- doradztwa technicznego
- testowania wyrobów i produktów innowacyjnych
- certyfikacji
- projektów
- szkoleń specjalistycznych

Więcej informacji na

www.cnbop.pl/centrumdronow

Kontakt: Mariusz Feltynowski, +48 691 521 929, mfeltynowski@cnbop.pl,
Grzegorz Zawistowski, +48 514 234 729, gzawistowski@cnbop.pl
Siedziba: CNBOP-PIB, ul. Nadwiślańska 213, 05-420 Józefów

bryg. dr inż. Mariusz Feltynowski[a)]*, mgr inż. Maciej Zawistowski[a)]

[a)]*Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej – Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute*
**Autor korespondencyjny / Corresponding author: mfeltynowski@cnbop.pl*

Zagrożenia związane z wykorzystaniem bezzałogowych platform w służbach ratunkowo-porządkowych

Threats Related to the Use of Unmanned Systems in Emergency Services

Угрозы, связанные с использованием беспилотных платформ в службах экстренной помощи

ABSTRAKT

Cel: Celem artykułu jest identyfikacja i przedstawienie najważniejszych zagrożeń związanych z coraz powszechniejszym stosowaniem platform bezzałogowych oraz metod i sposobów ich ograniczenia. Autorzy zaprezentowali zagrożenia mogące wystąpić w środowisku powietrznym, lądowym i wodnym. Dodatkowo przedstawiono stosowane rozwiązania i systemy mające na celu ograniczenie ryzyka związanego z wykorzystaniem platform bezzałogowych. Autorzy opisali również coraz częściej występujący problem obecności amatorskich platform bezzałogowych w obrębie trwającej akcji ratowniczo-poszukiwawczej oraz metody radzenia sobie z tym niepożądanym zjawiskiem.
Wprowadzenie: Ze względu na coraz powszechniejsze stosowanie pojazdów bezzałogowych – zarówno do celów hobbystycznych, jak i zawodowych – ryzyko związane z ich użyciem ciągle rośnie. Aby w pełni wykorzystać możliwości, jakie oferują platformy bezzałogowe w trakcie akcji ratowniczo-poszukiwawczych, muszą być one wyposażone w systemy i metody zapobiegające ich awarii lub – w przypadku jej wystąpienia – w systemy bezpieczeństwa ograniczające skutki usterki. Podobne zabiegi pozwoliłyby ograniczyć do minimum liczbę ewentualnych incydentów, które mogłyby negatywnie wpłynąć na nastawienie decyzyjnych grup do wykorzystywania nowych technologii w ratownictwie. Coraz szersze zastosowanie bezzałogowców promować można również poprzez organizację cyklicznych szkoleń specjalistycznych oraz eventów kierowanych do ratowników-operatorów. Poza wskazywaniem korzyści, jakie oferują bezzałogowe platformy, kładłyby one nacisk na identyfikację możliwych zagrożeń i metody im przeciwdziałania. Cykliczność tego typu przedsięwzięć pozwoliłaby na wymianę doświadczeń pomiędzy operatorami pojazdów bezzałogowych. Poza specjalistycznymi kursami dla obsługi, należy również wypracować specjalną ścieżkę certyfikacji takich pojazdów. Pozwoliłaby ona na zwiększenie niezawodności platform oraz systemów bezpieczeństwa na nich zamontowanych, potwierdzając możliwość ich wykorzystania nawet w najtrudniejszych warunkach.
Wnioski: Brak odpowiednich reguł współużytkowania przestrzeni powietrznej oraz odpowiedniego procesu certyfikacji nie pozwala na wprowadzenie pojazdów bezzałogowych do służb ratowniczo-poszukiwawczych. Dodatkowo brakuje szkoleń ukierunkowanych na maksymalne wykorzystanie możliwości oferowanych przez pojazdy bezzałogowe.
Słowa kluczowe: pojazd bezzałogowy, dron, ryzyko, środki zapobiegawcze, zagrożenie
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 22.07.2018; Zrecenzowany: 24.09.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;
Identyfikatory ORCID autorów: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;
Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 138–149, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.10;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to identify and present the most important threats related to the increasingly widespread application of unmanned systems, as well as the methods and ways to reduce those threats. The authors present a number of potential threats related to the use of unmanned systems in various environments – air, land and water. In addition, this paper discusses the solutions and approaches used to limit the risks associated with use of such systems. The authors also describe the increasingly common problem of the presence of amateur unmanned systems during search and rescue operations, and methods for their detection and counteracting their undesirable presence.
Introduction: Due to the increasingly common use of unmanned vehicles, both for recreational and professional purposes, and the decreasing cost of purchasing unmanned systems, the risk associated with their use continues to grow. In order to take full advantage of the possibilities offered by unmanned systems during search and rescue operations, they must be equipped with systems and methods to prevent their failure or safety systems

that reduce the effects of such incidents. Such procedures will minimise the number of possible incidents that could negatively affect the public opinion on the use of new technologies in emergency services, effectively limiting their development in this area. Safety improvements can also be achieved through the regular organisation of specialised training programmes and events for rescuers-operators, which, apart from presenting the possibilities offered by unmanned systems, would place emphasis on identifying possible threats and methods of counteracting them. The cyclical schedule of such projects would result in continuous expansion of opportunities and exchange of experiences between operators in the fast-growing field of unmanned vehicles. In addition to specialised courses for operators, a special certification path for such vehicles should also be developed. This would contribute to increased reliability of vehicles and their security systems, confirming their suitability for use even in the most difficult conditions during search and rescue operations.

Conclusions: Failure to introduce appropriate rules for the sharing of airspace and the lack of an appropriate certification process do not allow the introduction of unmanned vehicles in search and rescue services. In addition, there is no training aimed at maximising the opportunities offered by unmanned vehicles.

Keywords: unmanned vehicle, drone, risk, Unmanned System elimination methods, preventive measures, threat

Type of article: review article

Received: 22.07.2018; Reviewed: 24.09.2018; Accepted: 05.11.2018;

Authors' ORCID IDs: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;
The authors contributed equally to this article;

Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 138–149, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.10;

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

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель статьи – выявить и представить наиболее важные угрозы, связанные с широким использованием беспилотных платформ, а также определить методы и способы их сокращения. Авторы представили угрозы, которые могут возникнуть в воздушной, наземной и водной среде. Кроме того, представлены прикладные решения и системы для снижения риска, связанного с использованием беспилотных платформ. Авторы также описали достаточно распространенную проблему использования любительских беспилотных платформ во время проведения настоящих спасательных и поисковых операций и методы борьбы с этим нежелательным явлением.

Введение: Из-за все более распространенного использования беспилотных летательных аппаратов – как для хобби, так и для профессиональных целей – риск, связанный с их использованием, постоянно растет. Чтобы в полной мере использовать возможности беспилотных платформ во время спасательных и поисковых работ, они должны быть оснащены системами и методами для предотвращения их отказа или, в случае отказа, систем безопасности, ограничивающих последствия неисправности. Подобные меры помогут свести к минимуму число возможных инцидентов, которые могут негативно повлиять на отношение групп, принимающих решения, к использованию новых технологий в службах экстренной помощи. Более широкое использование беспилотных летательных аппаратов может также стимулироваться посредством организации периодических специализированных тренингов и мероприятий, адресованных операторам-спасателям. В дополнение к определению преимуществ беспилотных платформ они будут уделять особое внимание выявлению возможных угроз и методам противодействия таким угрозам. Цикличность мероприятий этого типа содействовала бы обмену опытом между операторами беспилотных летательных аппаратов. Кроме специализированных курсов для обслуживания, также должна быть разработана специальная система сертификации таких транспортных средств. Это позволило бы повысить надежность платформ и систем безопасности, установленных на них, подтверждая возможность их использования даже в самых сложных условиях.

Выводы: Отсутствие надлежащих правил совместного использования воздушного пространства и соответствующего процесса сертификации не позволяет внедрять беспилотные машины в службы спасения и поиска. Кроме того, нет никакой подготовки, направленной на максимизацию возможностей, которые имеют беспилотные транспортные средства.

Ключевые слова: беспилотный летательный аппарат, дрон, методы устранения БП, предупреждение, риск

Вид статьи: обзорная статья

Принята: 22.07.2018; Рецензирована: 24.09.2018; Одобрена: 05.11.2018;

Идентификаторы ORCID авторов: M. Feltynowski – 0000-0001-5614-8387; M. Zawistowski – 0000-0001-9832-0376;
Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;

Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 138–149, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.10;

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

Wstęp

Bezzałogowe statki stają się coraz bardziej widoczne w przestrzeni publicznej [1, 2, 3]. Poprzez zastosowanie w nich czujników i kamer pojazdy te mogą być wykorzystywane przez różne służby – zarówno mundurowe [2, 4, 5], jak i cywilne [6, 7, 8]. Wprowadzenie do użytku obiektów bez zaplecza operatorów

Introduction

Unmanned vehicles are becoming more and more noticeable in the public space [1, 2, 3]. The use of sensors and cameras makes these vehicles useful for various services – both uniformed [2, 4, 5] and civilian [6, 7, 8]. However, the introduction of these systems without having operators with appropriate

posiadających odpowiednie umiejętności oraz wiedzę z zakresu restrykcji wynikających z prawa lotniczego może jednak spowodować bardzo duże zagrożenie, zarówno dla ratowników, jak i osób postronnych. W szczególnych przypadkach obecność pojazdów bezzałogowych może uniemożliwić prowadzenie działań ratowniczych. W artykule zostały przeanalizowane zagrożenia związane z zastosowaniem pojazdów bezzałogowych oraz propozycje rozwiązań ograniczających to ryzyko.

skills and knowledge regarding the restrictions arising from the aviation law might pose a significant threat to both the rescuers and third parties. In some special situations, the presence of unmanned vehicles may render rescue actions impossible. This paper analyses the risks connected with the application of unmanned vehicles and provides suggested solutions to reduce these risks.

Zagrożenia związane z zastosowaniem bezzałogowych statków

Obecnie odnotować można bardzo wiele wariantów zastosowań pojazdów bezzałogowych do akcji poszukiwawczych, ratunkowych lub rozpoznawczych/patrolowych. W pierwszej kolejności należy jednak pamiętać o zapewnieniu bezpieczeństwa i niezawodności ich stosowania. Niezbędne jest zastosowanie zbioru reguł gwarantujących skuteczną współpracę urządzeń z ratownikami. W tym celu w 2017 r. w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego – Państwowym Instytucie Badawczym podjęto zadanie projektowe dotyczące wypracowania kompetencji w ramach tzw. Centrum Dronów – Centrum Systemów Bezzałogowych i Autonomicznych, którego celem jest zapewnienie bezpiecznego stosowania systemów bezzałogowych, przy akceptowalnym dla użytkownika poziomie ryzyka. W celu zachowania niezbędnego bezpieczeństwa dla osób zarówno obsługujących pojazdy bezzałogowe, jak i osób postronnych, elementy i systemy w nich stosowane powinny spełniać określone wymagania techniczne i niezawodnościowe. Pomimo wprowadzania różnorakich systemów i układów automatyki, nadal dochodzi do wypadków z udziałem platform bezzałogowych. Awarie mogą być spowodowane czynnikami wewnętrznymi (takimi jak błąd oprogramowania lub czujników) lub zewnętrznymi (np. dzikie zwierzęta lub inne platformy bezzałogowe).

Jednym z najczęstszych powodów awarii jest błąd ludzki spowodowany nieznajomością zasad i przepisów lub brakiem odpowiednich uprawnień do posługiwania się pojazdem bezzałogowym. Każde środowisko wykorzystujące bezzałogowce generuje nowe zagrożenia zarówno dla operatorów, jak i osób postronnych.

Istotne niebezpieczeństwo mogące pojawić się w trakcie akcji ratowniczej związane jest z odciągnięciem uwagi ratownika od otaczających go zagrożeń. Szczególnie bezzałogowe statki powietrzne, których manualna obsługa w trakcie rozpoznania pochłania w znacznym stopniu uwagę operatora, może doprowadzić do niebezpiecznej sytuacji, np. w przypadku pożaru. Wobec powyższego docelowym kierunkiem rozwoju pojazdów wykorzystywanych w służbach wydaje się pełna autonomia lotu.

Niezwykle duże zagrożenie w poruszaniu się pojazdami bezzałogowymi niesie ze sobą także współdzielenie przestrzeni lotu z innymi obiektami.. Największe niebezpieczeństwo dla człowieka występuje tutaj w przypadku pojazdów lądowych i powietrznych. Znajomość prawa o ruchu drogowym jest znacznie powszechniejsza niż wiedza o zasadach korzystania ze wspólnej przestrzeni powietrznej według prawa lotniczego. Zderzenie pojazdu bezzałogowego z pojazdem przewożącym ludzi może

Risks related to the use of unmanned vehicles

Today, unmanned vehicles are used in a variety of search, rescue, and reconnaissance/patrol operations. However, their safety and reliability should be regarded as the most important consideration. It is essential to follow a set of rules to guarantee effective cooperation between the vehicles and rescuers. To this end, in 2017 the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute launched a project regarding skills development as part of its Drone Centre – Centre for Unmanned and Autonomous Systems, whose objective is to ensure the safe operation of unmanned systems with a level of risk acceptable to the user. In order to ensure the safety of both the operators and third parties, the elements and systems used should comply with specific technical and reliability requirements. Even though a variety of systems and automatic solutions have been developed, accidents involving unmanned vehicles are still an issue. Their failure may be caused by internal (such as software or sensor issues) or external factors (wild animals or other unmanned systems).

One of the most common causes of failure is human error resulting from insufficient knowledge of the principles and regulations or the lack of appropriate qualifications to operate an unmanned vehicle. Every environment where unmanned systems are used generates new hazards to both operators and third parties.

A significant risk potentially faced during a rescue operation is connected with diverting the rescuers' attention from immediate threats. It is especially the operation of unmanned aerial vehicles, which requires a lot of attention from the operator, that might lead to dangerous situations, e.g. during a fire. Considering the above, fully autonomous flight seems to be the target for developing vehicles used by emergency services.

Sharing the airspace with other flying objects is also extremely dangerous when using unmanned aerial vehicles. Ground and aerial vehicles pose the highest risk to humans. Knowledge of traffic rules is much more common than knowledge of the flight rules applicable in the airspace according to aviation law. A collision of an unmanned vehicle with a passenger-carrying vehicle may result in damage and an emergency landing. Such situation have been observed by the fire service in California, among others [9]. Unmanned aerial vehicles used by amateurs to observe the fire forced the fire helicopter pilots to fly at higher altitudes, which significantly affected the accuracy of dropping water. Unmanned vehicles pose a very

 ISSN 1895-8443

spowodować uszkodzenie i awaryjne lądowanie. Takie sytuacje są sygnalizowane między innymi przez kalifornijską straż pożarną [9]. Bezzałogowe statki powietrzne wykorzystywane amatorsko do obserwacji pożaru wymusiły na helikopterach gaśniczych wyższy pułap lotu, uniemożliwiając dokładny zrzut wody. Pojazdy bezzałogowe stanowią bardzo poważne zagrożenie szczególnie dla silników statków powietrznych i – pośrednio – dla ich obsługi. Już samo współużytkowanie przestrzeni powietrznej przy zachowaniu separacji wysokości jest wyzwaniem. W trybie pilnym muszą sobie z nim poradzić legislatorzy (Urząd Lotnictwa Cywilnego i Polska Agencja Żeglugi Powietrznej), tak by możliwe było wdrożenie w najbliższych latach koncepcji U-Space (przestrzeni w miastach dla lotów pojazdów bezzałogowych i autonomicznych).

Bardzo duże niebezpieczeństwo, zarówno dla operatorów wielowirnikowych pojazdów bezzałogowych, jak i osób postronnych, stanowią elementy wirujące. Zagrożenie to występuje głównie w pojazdach latających o większej masie i w części pojazdów wodnych. Stanowią je szybko obracające się śmigła, które potrafią przeciąć skórę i mogą uszkodzić ważne arterie znajdujące się w ludzkim ciele. W celu ograniczenia tego ryzyka można wykorzystać różnego rodzaju klatki osłaniające cały pojazd bezzałogowy lub same śmigła (ryc. 1). Zastosowanie tego typu rozwiązania, chociaż bardzo skuteczne, powoduje zwiększenie masy samego pojazdu oraz negatywnie wpływa na pracę silników napędowych (szybsze zużycie z powodu zawirowań aerodynamicznych) [10]. Dodatkowo stosowanie zabezpieczenia całego pojazdu może zmniejszyć zakres widzenia zamontowanej kamery i przez to utrudnić wykonywanie zadań.

serious risk for aircraft, particularly their engines and, indirectly, for their pilots. Even in normal conditions, sharing airspace with unmanned vehicles, while maintaining vertical separation, represents a challenge. It is an urgent problem to be tackled by legislators (the Civil Aviation Authority and the Polish Air Navigation Services Agency), so as to enable cities to implement the concept of U-Space (airspace in a city where unmanned and autonomous vehicles are allowed).

Rotating elements pose a significant risk to both the operators of unmanned multirotor aerial vehicles and third parties. This threat is present mainly in heavier aerial vehicles and in some surface/underwater vehicles. It is caused by the rotating propellers, which can cut through skin and damage arteries in the human body. To reduce this risk, various cages can be used to cover the whole unmanned vehicle or its propellers (Fig. 1). Such solutions, although highly effective, increase the weight of the vehicle, affecting the operation of engines (faster deterioration due to disrupted aerodynamics) [10]. In addition, using a protective cage can reduce the view range of the installed camera and hinder task performance.

Rycina 1. Wielowirnikowiec wyposażony w klatkę osłaniającą cały pojazd przed bezpośrednim dostępem do elementów wirujących (po lewej stronie) [11] oraz indywidualne zabezpieczenie każdego z wirników (po prawej stronie) [12]
Figure 1. A multirotor with a cage covering the whole vehicle against direct access to rotating elements (left side [11]), and individual protection of each of the rotors on the example of DJI (right side [12])

Bezzałogowe statki powietrzne są często wykorzystywane również komercyjnie do monitorowania imprez masowych, takich jak zgromadzenia lub koncerty (rycina 2). Jako urządzenia techniczne mogą ulec awarii, co skutkuje bardzo poważnymi konsekwencjami.

Unmanned aerial vehicles are often used commercially for the coverage of mass events, such as large gatherings and concerts (Fig. 2). As technical devices, they might fail, which might lead to very serious consequences.

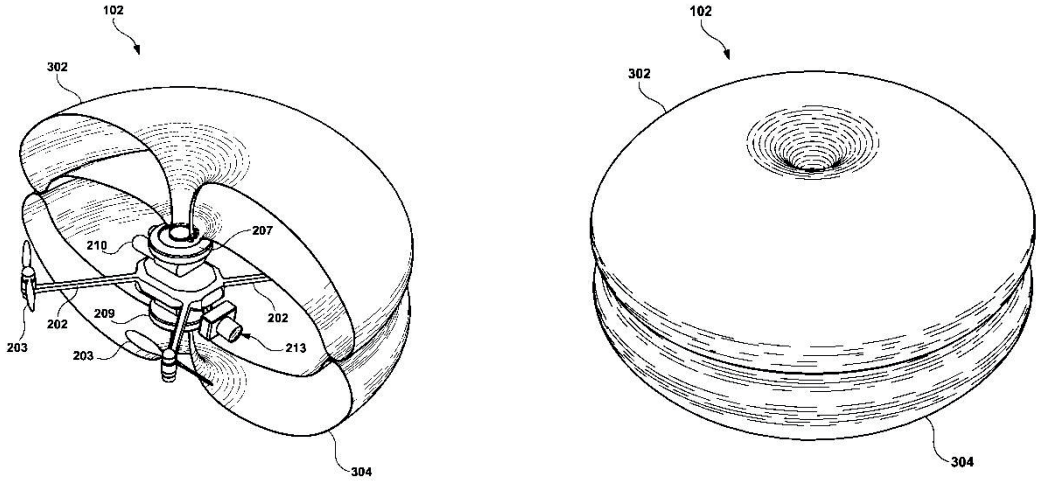
Rycina 2. Zdjęcie wykonane dronem w trakcie koncertu [13]
Figure 2. A photo taken with a drone during a concert [13]

Pojazd o masie około 5 kg, będący w zawisie na wysokości 30 m posiada energię potencjalną na poziomie około 1,5 kJ. Taka energia wystarczy do połamania najgrubszej kości człowieka i stwarza śmiertelne zagrożenie dla osób znajdujących się na ziemi bezpośrednio pod pojazdem. Obecnie najczęściej stosowaną metodą uniknięcia tego typu zdarzeń jest zamontowanie dodatkowego spadochronu bezpieczeństwa. Systemy tego typu dają możliwość autonomicznej kontroli lotu i w momencie wykrycia niepokojącej sytuacji uwalniają spadochron (automatycznie lub ręcznie), pozwalając na powolne opadanie maszyny [14–15]. Wadą opisanego zastosowania jest zwiększenie masy pojazdu oraz oporów aerodynamicznych, co ograniczaj możliwy czas pracy urządzenia.

Poza opisanym powyżej istnieją również inne rozwiązania, jednak są one z reguły trudno realizowalne lub powodują niezdatność pojazdów bezzałogowych do lotu podczas wiatru. Dobrze obrazuje to przykład systemu poduszek powietrznych, które w momencie awarii aktywują się i pozwalają na bezpieczne opadnięcie pojazdu na ziemię (rycina 3) [16].

A vehicle with the weight of approx. 5 kg, hovering at a height of 30 m has a potential energy of about 1.5 kJ. Such energy would be sufficient to shatter the thickest bone in the human body and poses lethal danger to people directly below the vehicle. Currently, the most widespread method of avoiding such events is installing an additional safety parachute. Such systems facilitate autonomous flight control and open the parachute (automatically or manually) in emergency situations, so that it can fall at a reduced speed [14–15]. One disadvantage of this solution is increased weight and aerodynamic drag, which reduces the maximum operation time of the device.

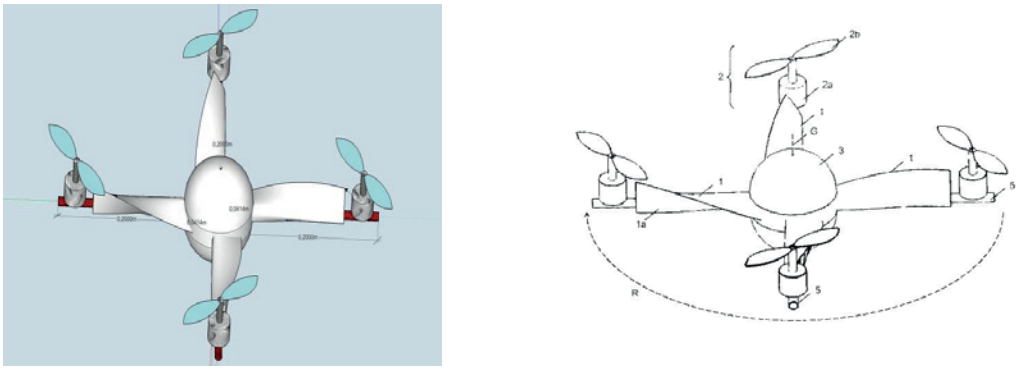
There are other solutions, but they are generally difficult to implement or prevent unmanned vehicles from flying under windy conditions. This is illustrated by the airbag system activated in response to failure and allowing the vehicle to slowly descend to the ground (Fig. 3) [16].



Rycina 3. Poglądowa zasada działania systemu poduszek powietrznych do ograniczenia skutków upadku pojazdu bezzałogowego [16]
Figure 3. Overview of the operation of the airbag system designed to reduce the effects of the fall of an unmanned vehicle [16]

Inną propozycją jest specjalnie zaprojektowany kształt platformy, pozwalający na swobodne opadnięcie pojazdu w razie awarii. Dzięki temu jego prędkość zostaje ograniczona do tego stopnia, że nie stwarza on zagrożenia (ryc. 4). Rozwiązanie to nie wprowadza dodatkowego obciążenia, jednak nie nadaje się do zastosowania poza budynkami.

Another solution is a specifically designed shape allowing the free fall of the vehicle in case of failure. This reduces the fall velocity to a point where it no longer poses any danger (Fig. 4). This solution introduces no additional load, but it cannot be used outdoors.



Rycina 4. Poglądowy przykład zasady działania systemu ograniczenia prędkości opadania w razie awarii [17, 18]
Figure 4. Overview of the operation of the proposed fall-velocity-reduction system in case of failure [17, 18]

Podobne zagrożenie występuje w przypadku bezzałogowych statków powietrznych lub bezzałogowych pojazdów poruszających się po powierzchnią wody. Zarówno jedne, jak i drugie potrafią poruszać się bardzo szybko, osiągając przy tym znaczną energię kinetyczną. Szczególnie płatowce, które z jednej strony mają większą ładowność, a z drugiej – by wytworzyć siłę nośną – muszą poruszać się ze stosunkowo dużą prędkością i mają mniejsze możliwości manewrowania. Stanowią one niebezpieczeństwo (zwłaszcza w trakcie startów i lądowań). Pojazd o masie 20 kg przy prędkości 10 m/s osiąga energię 2 kJ, która jest w stanie zabić człowieka. Analogiczna sytuacja ma miejsce w pojazdach wodnych. Człowiek, który wynurza się z wody po nurkowaniu, może nie zostać wykryty przez pojazd odpowiednio szybko. W tym przypadku niebezpieczeństwo niesie zarówno sama możliwość uderzenia nurka w głowę, jak i ryzyko utraty przez niego przytomności i w konsekwencji utonięcie.

Mając na uwadze powyższe, wydaje się, że najmniejsze zagrożenie dla użytkowników i osób ratowanych stanowią lądowe pojazdy bezzałogowe. Największe ryzyko związane z ich wykorzystaniem wynika z braku możliwości wykrycia przez nie człowieka znajdującego się na trasie, po której porusza się maszyna. Należy jednak zaznaczyć, że lądowe pojazdy często posiadają znaczną masę, która przy dużej prędkości może spowodować uszczerbek na zdrowiu lub nawet śmierć osoby postronnej. Innym pośrednim zagrożeniem, jakie niesie ze sobą tego typu pojazd jest, np. nieplanowane wtargnięcie na uczęszczany szlak komunikacyjny np. na jezdnię.

A similar risk is present with unmanned aerial vehicles or unmanned surface vehicles. Both types of vehicles can move very fast, gaining considerable kinetic energy. This particularly applies to airframes, which provide higher carrying capacity, but must move at high speeds to generate lift and have lower manoeuvring capabilities. This makes them pose a significant risk (especially during take-off and landing). A vehicle weighing 20 kg at a speed of 10 m/s reaches the energy of 2 kJ – enough to kill a person. This is also true for surface vehicles. A person emerging from the water after diving might not be detected by the vehicle soon enough. In this case the threat involves both the possibility of hitting the diver in the head and the risk of loss of consciousness resulting in drowning.

Taking the above into consideration, it seems that the lowest threat to the individuals being rescued is posed by unmanned ground vehicles. The biggest risk related to them involves limitations in their capability of detecting people in their way. However, it should be emphasised that ground vehicles are often heavy, which, paired with high speed, might cause damage to health or even death of a third party. Another indirect risk related to this type of vehicle involves unexpectedly entering a busy route, e.g. a roadway.

Metody wykrywania bezzałogowych pojazdów

W szczególnych przypadkach obecność dronów w trakcie różnych działań prowadzonych przez służby porządku publicznego czy też służby ratownicze może być niepożądana lub

Methods of detecting unmanned vehicles

In specific cases, the presence of drones during various operations conducted by law enforcement and emergency services might be undesirable or even dangerous to

nawet zagrażająca samej akcji. Działo się tak podczas zabezpieczenia imprez masowych typu Szczyt NATO czy Światowe Dni Młodzieży. Obecnie dyskutuje się nad zagrożeniami hybrydowymi wywoływanymi przez pojazdy bezzałogowe i nad sposobami zapobiegania tym zagrożeniom. Bardzo pomocne przy eliminowaniu zdarzeń związanych z zakłócaniem działań służb przez bezzałogowce jest wczesne wykrywanie obecności tych urządzeń w nadzorowanym obszarze. Obecnie istnieje już szereg metod dedykowanych temu celowi, najpopularniejsze to:

- **Detekcja audio** oparta na wykrywaniu charakterystycznej długości dźwięku emitowanego przez pojazd bezzałogowy. Na podstawie analizy infradźwięków wydawanych przez obracające się śmigła, oprogramowanie jest w stanie określić rodzaj pojazdu znajdującego się w pobliżu. Jakość i zasięg metody zależy w dużej mierze od zakłóceń i szumów dostarczanych przez otoczenie, dlatego promień wykrywania wynosi około 50 m [19].
- **Detekcja wideo**, która opiera się na rozpoznawaniu ruchu obiektu względem nieruchomego tła (tło stanowi z reguły krajobraz). Istnieje wiele algorytmów wizyjnego rozpoznawania i przetwarzania ruchu. Samo wykrywanie platformy bezzałogowej z wykorzystaniem kamery możliwe jest z dystansu około 100 m, przy czym odległość śledzenia takiego pojazdu jest większa [20].
- **Termowizja** jest wykorzystywana głównie do wykrywania pojazdów spalinowych, bardzo dobrze widocznych w kamerach termowizyjnych. Do zalet tego systemu należy zaliczyć przede wszystkim możliwość obserwacji pojazdów przy ograniczonej widoczności (np. we mgle lub w deszczu), natomiast wadą jest możliwość pomylenia pojazdu, np. z ptakami [21].
- **Radar** jest jedną z najlepiej znanych metod rozpoznawania innych pojazdów, jednak ze względu na bardzo mały rozmiar pojazdów bezzałogowych potrzebne jest stosowanie fal radiowych o niewielkiej długości. Zastosowanie takich fal ma negatywny wpływ na organizmy żywe. Dodatkowo może powodować otrzymywanie bardzo dużej liczby błędnych rozpoznań. Zaletą takiego rozwiązania jest większy zasięg niż oferują to opisywane wcześniej metody [22].
- **Fale radiowe** wykorzystane do sterowania pojazdów mogą być wykryte nawet z odległości 1 km. Dodatkowo na ich podstawie w niektórych przypadkach można określić rodzaj komercyjnego pojazdu bezzałogowego oraz wyznaczyć jego przybliżone współrzędne GPS [23].

Metody przeciwdziałania pojazdom bezzałogowym

Po odpowiednio szybkim wykryciu pojazdu bezzałogowego w obszarze zabronionym, w którym stwarza on zagrożenie dla ludzi i mienia, należy go w odpowiedni sposób unieszkodliwić. Obecnie stosuje się różne metody eliminacji zagrożeń związanych z dronami, w przeważającej mierze związane są one jednak z przemysłem zbrojeniowym. W związku z tym są

the operation in progress. This was the case during the protection of mass events such as the NATO Summit or World Youth Day. The hybrid threats caused by unmanned vehicles and the methods to prevent them are being widely discussed nowadays. Early detection of unmanned vehicles within the protected area greatly facilitates the elimination of threats connected with the risk of affecting the operations of emergency services. A number of methods specifically dedicated for this purpose have already been developed, the most popular of which include:

- **Audio detection** based on detecting the distinctive sound frequency emitted by unmanned vehicles. By analysing the infrasound emitted by rotating propellers, specialised software can identify the type of vehicle present nearby. The quality and range of this method largely depends on the interference and noise generated by the environment, which limits the detection radius to approx. 50 m [19].
- **Video detection**, which is based on detecting the motion of an object in relation to static background (usually landscape). There are numerous algorithms allowing the visual detection and processing of motion. Using a camera, an unmanned system can be detected from a distance of approx. 100 m, but the distance from which the detected vehicle can be tracked is longer [20].
- **Thermal imaging** is mainly used to detect internal combustion engine vehicles, which are clearly visible using thermographic cameras. The primary advantage of this system is that it enables the user to observe vehicles even in low visibility conditions (fog or rain). However, it is difficult to distinguish the tracked objects from e.g. birds [21].
- **Radar** is one of the best known methods of detecting other vehicles, but due to the extremely small size of unmanned vehicles, high-frequency radio waves must be used. Such waves are known to have adverse effect on living organisms. In addition, it can involve a large number of incorrect detections. The advantage of this solution is its higher range compared to the methods described above [22].
- **Radio waves** used to control the vehicles can be detected even from a distance of 1 km. In addition, in some cases they are sufficient to identify the type of a commercial unmanned vehicle or roughly determine its GPS coordinates [23].

Methods for fighting unmanned vehicles

After an unmanned vehicle is reasonably quickly detected in an area where its presence is forbidden and where it could pose a threat to people or property, it should be properly disabled. Currently there are a number of different methods for eliminating drone-related threats, but most of them are connected with the arms industry. Because of this, they cannot

 ISSN 1895-8443

one wyłączone z zastosowania w miejscach publicznych lub niedostępne dla kupujących. Poniżej przedstawiono najpopularniejsze metody unieruchamiania pojazdów bezzałogowych.

Jedna z bardziej nowoczesnych metod walki z pojazdami bezzałogowymi polega na wykorzystaniu głowic laserowych HEL MD (High Energy Laser Mobile Demonstrator). W momencie wykrycia niechcianego obiektu skoncentrowana wiązka lasera rozgrzewa go do momentu, aż obiekt spadnie na ziemię.

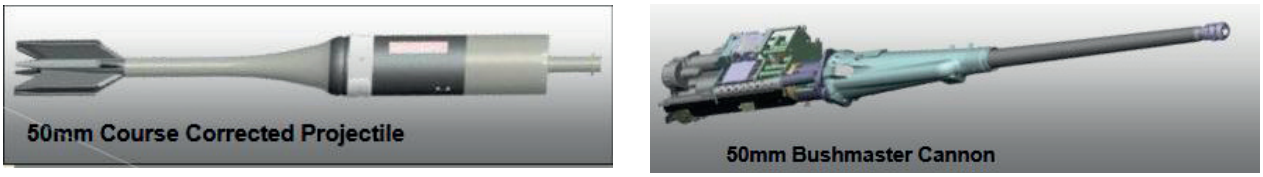
be used in public places or they are unavailable for consumers. Below is a list of the most popular methods for disabling unmanned vehicles.

One of the most advanced methods for fighting unmanned vehicles involves the use of HEL MD (High Energy Laser Mobile Demonstrator). When an unwanted object is detected, a concentrated laser beam begins to heat it until it crashes to the ground.

Rycina 5. Przykład systemu laserowego wykrywania i niszczenia pojazdów bezzałogowych, zainstalowany na dachu wozu opancerzonego [24]
Figure 5. An example of a laser detection and destruction system for unmanned vehicles, which is installed on the roof of an armoured vehicle [24]

Innym, również militarnym rozwiązaniem, jest wykorzystanie do eliminacji bezzałogowych pojazdów amunicji specjalnej. Przykładem takiego systemu jest EAPS ID (Extended Area Protection and Survivability Integrated Demonstrator) (ryc. 6) [25]. System zbudowany w 2016 r. na potrzeby armii amerykańskiej opiera się na specjalnym pocisku, który po wystrzeleniu utrzymuje, a w razie potrzeby wykonuje korektę trajektorii, tak aby cel został trafiony.

Another military solution is to take down UAVs using special ammunition. One example is EAPS ID (Extended Area Protection and Survivability Integrated Demonstrator) (Fig. 6) [25]. Built in 2016 for the purposes of the US army, the system is based on a special missile which maintains or corrects its trajectory after being fired to reach the target.



Rycina 6. Pocisk samonaprowadzający wraz z działkiem [25]
Figure 6. Self-guided missile and a cannon [25]

Inną, bardziej komercyjną metodą, jest przechwycenie lub strącenie pojazdu bezzałogowego przez inny pojazd lub urządzenie. Specjalny pojazd wyposażony jest w sieć, w którą łapany jest nieporządany obiekt. Wadą tego rozwiązania jest konieczność stosowania większego pojazdu niż ten przechwytywany oraz duży opór powietrza związany z użyciem siatki. Przy takich parametrach „złapanie" pojazdu naruszającego zakazaną przestrzeń bywa trudne. Natomiast metoda ta nie powoduje uszkodzenia drugiego bezzałogowca, co w dalszym postępowaniu pozwala uniknąć problemów prawnych, które mogą wyniknąć z tytułu uszkodzenia cudzego mienia. Rozwiązanie tego typu testowała Politechnika Śląska w Międzynarodowym Porcie Lotniczym Katowice w Pyrzowicach (ryc. 7).

Another method, more viable for commercial production, is to capture or take down the unmanned vehicle using another vehicle or device. A special vehicle is equipped with a net which is used to trap the unwanted object. The disadvantage of this solution is the need to use a bigger vehicle than the one being captured and the large air drag connected with using the net. With these parameters, "catching" a trespassing vehicle can be difficult. The advantage of this method is that it does not cause damage to the captured UAV, which helps avoid potential legal issues connected with property damage. Such a solution was tested by the Silesian University of Technology at the Katowice International Airport (Fig. 7).

Rycina 7. Przykład pojazdu bezzałogowego, który przechwycił niechcianego drona [26]
Figure 7. An example of an unmanned vehicle with the system that captured an unwanted drone [26]

Alternatywną dla użycia siatki jest system „Rapere". Działa on poprzez wystrzelenie linek, które po wkręceniu się w wirniki niepożądanego obiektu powodują ich zatrzymanie i w rezultacie upadek pojazdu na ziemię [27]. Na podobnej zasadzie działają również różnego rodzaju bazooki, których obsługa wymaga doświadczonego operatora (ryc. 8). Posiadają one pocisk, który w trakcie lotu wypuszcza sieć. Zaplątany w nią pojazd bezzałogowy zostaje w ten sposób unieruchomiony.

An alternative to using a net is the "Rapere" system. It is used to shoot wires, which get entangled in the propellers of the unwanted object, causing them to stop which results in the vehicle's fall [27]. A similar principle is employed in various types of bazookas, which require an experienced operator to use (Fig. 8). They have a button that releases a net in flight. When caught, the UAV becomes immobilised.

Rycina 8. Przykład bazooki do eliminacji pojazdów bezzałogowych [28]
Figure 8. An example of an anti-drone bazooka [28]

Ekstremalnym sposobem walki z pojazdami bezzałogowymi może być użycie broni palnej. Tego typu metoda może być wykorzystywana w nielicznych krajach, np. Stanach Zjednoczonych. Przysparza trudności, ponieważ ciężko jest wykryć mały obiekt latający (szczególnie, np. biały pojazd na tle chmur). Niesie ze sobą także niebezpieczeństwo związane z coraz większymi prędkościami osiąganymi przez bezzałogowce. Dodatkowo stosowanie tej metody generuje ryzyko pozwów sądowych (stworzenie zagrożenia zdrowia i życia lub zniszczenie cudzego mienia) [29]. Stosowne regulacje prawne, które mogłyby wyłączyć operatorów służb z odpowiedzialności za powstałe szkody, są uwzględniane przy aktualizacji prawa lotniczego.

Bardzo dobrym sposobem zneutralizowania pojazdu bezzałogowego jest zakłócenie sygnałów sterowania. Poprzez wprowadzenie zakłóceń radiowych o odpowiednim paśmie częstotliwości można spowodować utratę komunikacji pomiędzy pojazdem bezzałogowym, a osobą która go

An extreme way of fighting unmanned vehicles would be the use of firearms. This kind of method, however, can be used in few countries, e.g. in the United States. It involves a number of difficulties, because detecting a small flying object is not an easy task (especially if it is, e.g., a white vehicle against the clouds). This is also dangerous due to the increasing speeds achieved by unmanned vehicles. Also, using this method might lead to lawsuits (threats to health and life or destroying somebody else's property) [29]. Appropriate legal regulations introducing exclusions for public service operators for the potential damage are being considered in the process of updating aviation law.

A very good method of neutralising an unmanned vehicle is to disrupt its control signals. By introducing radio interference with a specific frequency band, you can jam communications between the unmanned vehicle and the person controlling it. The disadvantage of this solution is that there is no

 ISSN 1895-8443

obsługuje. Wadą tego rozwiązania jest brak wiedzy o tym, jak dany pojazd się zachowa na skutek wprowadzenia zakłóceń. Może on np. wrócić z powrotem na miejsce swojego startu, wylądować lub bezpośrednio upaść na ziemię. Rozwiązanie wykorzystujące zagłuszanie systemu sterowania pokazane jest na rycinie 9.

way to tell how the vehicle would behave as a result of jamming communications. It can, e.g. return to its original location, land or fall directly on the ground. A solution using the jamming of the control signal is shown in Fig. 9.

Rycina 9. Zakłócacz sygnału radiowego [30]
Figure 9. Radio signal jammer [31]

Wnioski

Pojazdy bezzałogowe, tak jak wszystkie urządzenia techniczne, mogą ulec awarii. Ograniczenie tego ryzyka zasadniczo wpływa na powodzenie akcji oraz odbiór społeczny (aprobata dla działań prowadzonych przez służby i wiarygodność technologii). Aby ograniczyć awarie, konieczne jest stosowanie urządzeń przetestowanych pod kątem technicznym – na przykład poprzez proces certyfikacji. Wymagane powinno być także stosowanie wszelkiego rodzaju układów zwiększających bezpieczeństwo użytkownika i obywatela, które działają w sposób pewny i automatyczny (np. wypuszczany spadochron). Bez zapewnienia bezpieczeństwa użycia systemów bezzałogowych poprzez uregulowania prawne, odpowiednią certyfikację sprzętu i docelowo pełną autonomię systemów, nie może być mowy o powszechnym wprowadzeniu platform bezzałogowych do służb. Zaistnienie kilku nagłośnionych incydentów z udziałem BSP i pojawienie się poszkodowanych z tego powodu obywateli, ewentualnie brak zapewnienia bezpieczeństwa danych osobowych pozyskanych za pomocą platform bezzałogowych, może spowodować spadek społecznej akceptacji dla wprowadzania nowych technologii w służbach odpowiedzialnych za bezpieczeństwo.

Dodatkowo konieczne są odpowiednie szkolenia dla obsługi, ze szczególnym naciskiem zarówno na możliwości, jak i zagrożenia związane z wykorzystaniem pojazdów bezzałogowych. Bezwarunkowo muszą zostać wypracowane odpowiednie regulacje prawne określające zakres prac wykonywanych przez pojazdy bezzałogowe oraz ich dopuszczalny obszar poruszania się. Na realizację czeka koncepcja U – Space przewidująca ruch w przestrzeni powietrznej latających pojazdów załogowych i bezzałogowych przy określonej separacji wysokości i z wykorzystaniem tzw. *geofencingu* (poruszania się wewnątrz obszaru wydzielonego wirtualnymi granicami).

Stosowanie odpowiednich zasad i reguł nie uchroni ratowników przed negatywnymi efektami działań pojazdów

Conclusions

Like other technical devices, unmanned vehicles are subject to defects. Reducing this risk is an essential element in mission success and ensuring good public perception (approving the operations run by the services and the reliability of technology). In order to reduce the failure rate, these devices must undergo specialised testing – e.g. as part of a certification process. It should also be required that a variety of reliable and automatic systems be used to increase the safety of users and citizens (e.g. a parachute). The widespread use of unmanned vehicles by the services will not be possible without ensuring the safety of using unmanned systems through legal regulations, appropriate device certification and, eventually, achieving their full autonomy. A number of highly-publicised incidents involving UAVs, injuries to people and concerns about the inability to ensure the protection of personal data obtained by such vehicles could harm the public acceptance of introducing new technologies in the services protecting public safety.

In addition, appropriate training programmes for operators must be developed, placing special emphasis on both the opportunities and threats involved in the use of unmanned vehicles. A set of legal regulations must be developed to define the range of operations that can be performed by unmanned vehicles and their permissible area of operation. The U-Space concept, which regulates the movement of manned and unmanned aerial vehicles in the airspace with appropriate vertical separation and using geofencing (staying within an area delimited by virtual borders) is awaiting implementation.

Following a specific set of rules and principles would not protect the rescuers from the negative effects of third-party vehicle intrusion. Until specific airspace sharing procedures are developed, unauthorised vehicles identified near an emergency operation site should be immediately removed from the

należących do osób postronnych, niezwiązanych z akcją ratowniczą. Obce pojazdy, zidentyfikowane w pobliżu akcji ratowniczej, do czasu wypracowania procedur umożliwiających współużytkowanie przestrzeni, powinny być usuwane z obszaru działań służb w trybie natychmiastowym. – jako stanowiące zagrożenie dla innych pojazdów załogowych (np. śmigłowców gaśniczych lub ratunkowych. Taki model był stosowany w poprzednich latach podczas ćwiczeń Komendy Głównej Państwowej Straży Pożarnej na poligonie Wojsk Lądowych w Żaganiu. Niewątpliwie możliwości stwarzane przez platformy bezzałogowe znacznie przewyższają zagrożenia związane z ich użyciem. W opisywanym obszarze jest jeszcze wiele do zrobienia. Konieczne jest ustanowienie odpowiednich uregulowań prawnych, opracowanie procedur operacyjnych, wykonanie testów poligonowych. Należy dążyć do pełnej autonomii i certyfikacji sprzętu oraz kompetencji, a także podnoszenia kwalifikacji personelu służb. Przy dopełnieniu wymienionych zadań obywatele z pewnością zaakceptują poziom ryzyka związany z użyciem bezzałogowców.

area as posing danger to other, manned vehicles (e.g. fire and rescue helicopters). Such a model was adopted in the previous years by the National Headquarters of the State Fire Service during its manoeuvres at the training area of the Land Forces in Żagań. The opportunities created by unmanned systems clearly outweigh the threats involved. But there is still a lot of work to be done in this area. It is essential to introduce specific legal regulations, develop operational procedures and perform tests in training areas. Full autonomy and certification of equipment and qualifications, as well as improving operator skills, should be the target. If these tasks are achieved, the public will definitely accept the level of risk involved in the use of unmanned vehicles.

Literatura/Literature

[1] Tuśnio N., Nowak A., Tuśnio J., Wolny P., *Bezzałogowe statki powietrzne w działaniach Państwowej Straży Pożarnej – propozycja dedykowana Państwowej Straży Pożarnej*, Zeszyty Naukowe SGSP 2016, 58, tom 1/2.

[2] Polkowski P., *Bezzałogowe statki powietrzne unmanned aerial vehicles*, „Rocznik Bezpieczeństwa Międzynarodowego" 2016, 10(1).

[3] Jinlu Han, Yaojin Xu, Long Di, YangQuan Chen, *Low-cost Multi-UAV Technologies for Contour Mapping of Nuclear Radiation Field*, "Journal of Intelligent & Robotic Systems" 2013, 70(1–4), 401–410.

[4] Jessie Y.C.Chen, *UAV-guided navigation for ground robot tele-operation in a military reconnaissance environment*, "Ergonomics" 2010, 53(8), 940–950, https://doi.org/10.1080/00140139.2010.500404.

[5] D. Prior S., Siu-Tsen S., S. White A., Odedra S., Karamanoglu M., Ali Erbil M., Foran T., *Development of a Novel Platform for Greater Situational Awareness in the Urban Military Terrain*, "EPCE 2009: Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics", 20–125.

[6] Hajdrowski K., *Drony w służbie energetyki*, „Energia Elektryczna" 2014.

[7] Ferenc A., Koreleska E., *Innowacje w logistycznej obsłudze pacjenta – zastosowanie dronów*, „TTS Technika Transportu Szynowego" 2015, 12, 492–496.

[8] *Drony w służbie społeczeństwa*, „Innowacje techniczne", 2016 https://iq.intel.pl/drony-w-sluzbie-spoleczenstwa/[dostęp: 20.07.2018].

[9] *Drone Hampers Fire Fighting Effort In Mill Creek Canyon, plik video* https://youtu.be/s8OggJqvT7Y [dostęp: 20.07.2018].

[10] Merkisz J., Markowski J., Galant M., Karpiński D., *Analiza właściwości napędu śmigłowego w aspekcie zastosowania w hybrydowych układach napędowych statków powietrznych*, „Logistyka" 2014, 6.

[11] Feltynowski M., *Zastosowanie systemów bezzałogowych elementem umożliwiającym usprawnienie procesu podejmowania decyzji w zarządzaniu kryzysowym i ratownictwie*, „Security and alarm systems" 2018, 1/(7).

[12] Floreano D., Wood J.R., *Science, technology and the future of small autonomous drones*, „Nature" 2015, 521, 460–466.

[13] *How to Legally Fly Drones at a Concert,* https://www.droneblog.com/2018/07/13/how-to-legally-fly-drones-at-a-concert/ [dostęp: 20.07.2018].

[14] Strona internetowa firmy ParaZero Drone Safety Systems Ltd., https://parazero.com/ [dostęp: 20.07.2018].

[15] Strona internetowy firmy Skycat, https://www.skycat.pro/, [dostęp: 20.07.2018].

[16] *Impact absorption apparatus for unmanned aerial vehicle,* Patent, Stany Zjednoczone, US20160332739A1, 2015, https://patents.google.com/patent/US20160332739A1/en [dostęp: 20.07.2018].

[17] Flying machine, Patent, Stany Zjednoczone, US20150158581A1, 2015, https://patentimages.storage.googleapis.com/d3/03/bb/97c1f6ee6f8745/US20150158581A1.pdf [dostęp: 20.07.2018].

[18] *Meteomatics US-patent for new drone safety system accepted,* Meteomatics AG, http://meteomatics.com/display/NEWS/2017/02/24/Meteomatics+US-patent+for+new+drone+safety+system+accepted [dostęp 20.07.2018].

[19] Hauzenberger L., Holmberg Ohlsson E., *Drone Detection using Audio Analysis*, Department of Electrical and Information Technology, Faculty of Engineering, Lund University, 2015.

[20] Rozantsev A., Lepetit V., Fua P., *Flying Objects Detection from a Single Moving Camera, w: 2015 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 7-12 June 2015, 10.1109/CVPR.2015.7299040.

[21] Andraši P., Radišić T., Muštra M., Ivošević J., *Night-time Detection of UAVs using Thermal Infrared Camera*, "Transportation Research Procedia" 2017, 28, 183–190.

[22] Strona internetowa firmy Advanced Protection Systems, http://apsystems.tech/ [dostęp: 20.07.2018].

[23] Folder Drone Detection Systems [dok. elektr.], http://www.aaronia.com/Datasheets/Documents/Drone-Detection-System.pdf [dostęp: 20.07.2018].

[24] Cutshaw B.J., *HEL MD comes home to Redstone Arsenal*, https://www.army.mil/article/140422/hel_md_comes_home_to_redstone_arsenal [dostęp: 20.07.2018].

[25] Luciano M., *Extended Area Protection and Survivability (EAPS) ATO 2016*, Armaments Systems Forum [dok. elektr.] https://ndiastorage.blob.core.usgovcloudapi.net/ndia/2016/armament/18295_Luciano.pdf [dostęp: 20.07.2018].
[26] Skorupski J., *Wyzwania inżynierii ruchu lotniczego*, Wydział Transportu Politechniki Warszawskiej, Warszawa 2006, s. 93.
[27] Serwis internetowy Popular Science, https://www.popsci.com/rapere-anti-drone-interceptor [dostęp: 20.07.2018].
[28] Pandula V., *Skywall 100 is a Bazooka style Anti-Drone defense system with range up to 100 meters,* https://www.gizmotimes.com/gadgets/skywall-100-anti-drone-defense-system/8999 [dostęp: 20.07.2018].
[29] *Hillview man arrested for shooting down drone; cites right to privacy,* http://www.wdrb.com/story/29650818/hillview-man-arrested-for-shooting-down-drone-cites-right-to-privacy [dostęp: 20.07.2018].
[30] Król M., Koperski W., Błaszczyk J., Woźniak R., Błaszczyk P.M., *„SAN: an Integrated Unmanned Air Vehicles Interdictor System Concept* , „Problemy Mechatroniki : uzbrojenie, lotnictwo, inżynieria bezpieczeństwa" 2017, 8, 4 (30), 79–94.

BRYG. DR INŻ. MARIUSZ FELTYNOWSKI – kierownik Centrum Systemów Bezzałogowych i Autonomicznych – Centrum Dronów. Od 2016 r. kierownik Działu Samodzielnych Ekspertów w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie. W 2016 r. ukończył studia III stopnia na Wydziale Zarządzania i Dowodzenia, Akademii Obrony Narodowej, uzyskując stopień naukowy doktora w dziedzinie nauk społecznych. Specjalista w zakresie działań ratowniczych, w tym zwłaszcza problematyki działań i funkcjonowania specjalistycznych grup poszukiwawczo-ratowniczych kierowanych do działań po katastrofach budowlanych i trzęsieniach ziemi.

MGR MACIEJ ZAWISTOWSKI – absolwent wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej, w latach 2013–2018 pracował w Instytucie Elektrotechniki w Międzylesiu w zakładach Systemów Pomiarowo-Diagnostycznych oraz Zakładzie napędów elektrycznych i sterowania. Od 2018 r. pracuje w dziale Samodzielnych Ekspertów w Centrum Naukowo-Badawczym Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego w Józefowie.

BRIG. ENG. MARIUSZ FELTYNOWSKI, PH.D. – manager of the Drone Centre – Centre for Unmanned and Autonomous Systems. Since 2017 manager of the Department of Independent Experts of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów. In 2016 he completed his doctoral studies at the Faculty of Management and Command of the National Defence University of Warsaw, obtaining the title of Doctor of Social Sciences. Specialist in the field of rescue operations, particularly issues related to the operations and functioning of specialised search-and-rescue teams deployed in the aftermath of construction accidents and earthquakes.

MACIEJ ZAWISTOWSKI, M.ENG. – graduated from the Faculty of Electronics of the Warsaw University of Technology, in 2013–2018 he worked at the Electrotechnical Institute in Międzylesie at the Department of Measurement and Diagnostic Systems and Department of Electric Drives and Control. Since 2018 he has worked at the Department of Independent Experts of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute in Józefów.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

st. kpt. mgr inż. Wojciech Wiśniewski[a)], mł. kpt. mgr inż. Grzegorz Sobieszek[a)], mgr Bartłomiej Połeć[b)]*

[a)] *Komenda Wojewódzka Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie / Mazovian Headquarters of the State Fire Service*
[b)] *Centrum Naukowo-Badawcze Ochrony Przeciwpożarowej - Państwowy Instytut Badawczy / Scientific and Research Centre for Fire Protection National Research Institute*
**Autor korespondencyjny / Corresponding author: bpolec@cnbop.pl*

Zapobieganie poważnym awariom przemysłowym – studium przypadku na przykładzie województwa mazowieckiego

Prevention of Major industrial accidents – Case Study Using the Example of the Mazowieckie Voivodeship

Предотвращение серьезных несчастных случаев на производстве – комплексный анализ на примере Мазовецкого воеводства

ABSTRAKT

Cel: Niniejszy artykuł ma na celu ocenę stanu realizacji w Polsce obowiązującej doktryny zapobiegania poważnym awariom przemysłowym w kontekście zapewnienia bezpiecznej odległości w procesie kształtowania ładu przestrzennego.
Wprowadzenie: Właściciele zakładów o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej są zobowiązani do przeprowadzania analizy takiego ryzyka oraz jego oceny. W raportach o bezpieczeństwie dla tego rodzaju zakładów zawarte są szczegółowe założenia i opis procesu analizy i oceny ryzyka oraz jego wyniki przedstawione także w formie graficznej. Jednym z najważniejszych elementów tego procesu są wytypowane reprezentatywne zdarzenia awaryjne, rozwinięte w reprezentatywne scenariusze awaryjne. Od stopnia ich dokładności i adekwatności dla danego rodzaju instalacji i parametrów procesu przemysłowego zależy końcowa wartość analizy ryzyka oraz jego ocena.
Metodologia: W ramach badań przeprowadzonych na potrzeby artykułu dokonano przeglądu aktów prawnych i dostępnych wytycznych, przeanalizowano dostępne raporty o bezpieczeństwie i zawarte w nich dane dotyczące reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych w 18 zakładach o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej w województwie mazowieckim.
Wnioski: Krajowy system planowania i zagospodarowania przestrzennego nie uwzględnia w dostatecznym zakresie założeń doktryny zapobiegania poważnym awariom przemysłowym. Nie istnieje określona metodyka dokonywania oceny ryzyka, z racji czego poszczególne oceny ryzyka w raportach o bezpieczeństwie oparte są na niejednolitych zasadach, co w przypadku podobnych zakładów powoduje rozbieżności. Brakuje standaryzacji wymagań w zakresie prezentacji wyników analiz i ocen ryzyka, a w szczególności zasięgów oddziaływania promieniowania cieplnego, nadciśnienia i toksyczności. W efekcie wyniki te są prezentowane wedle uznania, w sposób uniemożliwiający ich jednoznaczną interpretację. Bez wykorzystania określonego oprogramowania nie jest możliwa również dokładna interpolacja danych. Wyniki dokonanej w 2017 roku dla województwa mazowieckiego analizy zagrożeń wykazały, iż obszar objęty oddziaływaniem zakładów o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii poza swoim terenem w województwie mazowieckim wynosi ok. 2300 ha. Istotnym problemem jest również brak krajowych wytycznych w zakresie ustalania bezpiecznej odległości na potrzeby planowania i zagospodarowania przestrzennego, który sprawia, że ww. obszar podlega określonym rodzajom zagospodarowania z pominięciem lub niedostatecznym uwzględnieniem informacji o oddziaływaniu poważnych awarii przemysłowych.
Słowa kluczowe: awaria przemysłowa, reprezentatywne zdarzenie awaryjne, bezpieczna odległość, planowanie przestrzenne
Typ artykułu: artykuł przeglądowy

Przyjęty: 01.03.2018; Zrecenzowany: 20.11.2018; Zatwierdzony: 22.11.2018;
Procentowy wkład merytoryczny: W. Wiśniewski – 45%; G. Sobieszek – 45%; B. Połeć – 10%;
Identyfikatory ORCID autorów: W. Wiśniewski – 0000-0002-9106-5306; G. Sobieszek 0000-0001-9341-0743; B. Połeć – 0000-0003-2054-8068;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 150–169, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.11;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The aim of this paper is to assess the state of implementation in Poland of the current doctrine for the prevention of major industrial accidents in the context of providing safety distance in the process of shaping the spatial order.
Introduction: The obligation to perform an analysis and assessment of the risk of a major industrial accident lies above all with operators of upper-tier establishments. The security reports for such establishments contain detailed assumptions and the description of the analytical evaluation and risk assessment process and present its results together with their graphical visualisation. One of the most important elements of such a risk assessment

is the identification of representative emergency events developed in representative emergency scenarios. The end value of the risk analysis and its evaluation depends on the degree of their accuracy and relevance for the type of establishment and industrial process parameters.
Methodology: The research conducted for the purposes of this article included a review of the legislation and available guidelines, an analysis of safety reports and data contained in them on representative emergency scenarios in 18 establishments with a high risk of a major industrial accident in the Mazowieckie Voivodeship.
Conclusions: The national land use and spatial planning system does not take into account the assumptions of the doctrine of prevention of major industrial accidents. There is no specific risk assessment methodology, resulting in individual risk assessments in safety reports being based on non-uniform rules, and thereby discrepancies between similar establishments. There is a lack of standardisation of requirements regarding the presentation of analysis results and risk assessments, in particular with regard to the ranges of thermal radiation, overpressure and toxicity. As a result, these results are presented arbitrarily in a way that prevents their clear interpretation. The exact interpolation of data is impossible without the use of specific software. The results of the risk analysis performed in 2017 for the Mazowieckie Voivodeship showed that the area affected by the upper-tier establishments with a high risk of a major accident outside of their territory in the Mazowieckie Voivodeship is approx. 2,300 ha. An important problem is also the lack of national guidelines for establishing safety distances for land use and spatial planning purposes, which means that the above-mentioned area is subject to certain types of land use, disregarding or providing insufficient attention to information on the impact of major industrial accidents.
Keywords: major industrial accident, representative emergency scenario, safety distance, land use and spatial planning
Type of article: review article

Received: 01.03.2018; Reviewed: 20.11.2018; Accepted: 22.11.2018;
Percentage contribution: W. Wiśniewski – 45%; G. Sobieszek – 45%; B. Połeć – 10%;
Authors' ORCID IDs: W. Wiśniewski – 0000-0002-9106-5306; G. Sobieszek 0000-0001-9341-0743; B. Połeć – 0000-0003-2054-8068;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 150–169, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.11;
This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: Цель данной статьи – оценка состояния внедрения в Польше действующей доктрины относительно предотвращения крупных промышленных аварий в контексте обеспечения безопасного расстояния в процессе формирования пространственного порядка.
Введение: Владельцы предприятий с высоким риском серьезной промышленной аварии обязаны проводить такой анализ риска и его оценку. Отчеты по безопасности для таких предприятий включают подробные предположения и описание процесса анализа и оценки риска, а также результаты, представленные также в графической форме. Одним из наиболее важных элементов этого процесса является выделение репрезентативных аварийных событий, рассматриваемых в репрезентативных аварийных сценариях. От степени их точности и соответствия данному типу установки и параметрам производственного процесса, зависит конечное значение анализа рисков и его оценка.
Методология: В рамках исследования, проведенного для целей данной статьи, были проанализированы правовые акты и имеющиеся руководящие принципы, проанализированы имеющиеся отчеты по безопасности и содержащиеся в них данные о репрезентативных сценариях чрезвычайных ситуаций на 18 предприятиях с высоким риском крупной промышленной аварии в Мазовецком воеводстве.
Выводы: Национальная система пространственного планирования и развития не учитывает в соответствующей мере доктрину предотвращения серьезных промышленных аварий. Нет конкретной методологии оценки риска, из-за чего индивидуальные оценки риска в отчетах по безопасности основаны на неоднородных правилах, которые в случае аналогичных установок вызывают расхождения. Отсутствует стандартизация требований в отношении представления результатов анализа и оценки рисков, в частности диапазонов теплового излучения, гипертонии и токсичности. В результате эти результаты представляются на личное усмотрение, таким образом, получение однозначной интерпретации не представляется возможным. Точная интерполяция данных невозможна без использования специального программного обеспечения. Результаты анализа рисков, проведенного в 2017 году для Мазовецкого воеводства, показали, что площадь воздействия предприятий с высоким риском крупной аварии за пределами их территории в Мазовецком воеводстве, составляет около 2 300 га. Важной проблемой также является отсутствие национальных руководств по установлению безопасного расстояния для планирования и пространственного обустройства, что приводит к тому, что вышеуказанный район подвержен особым типам планирования, в которых отсутствует или недостаточно учитывается информация о воздействии крупных промышленных аварий.
Ключевые слова: промышленная авария, репрезентативное аварийное событие, безопасное расстояние, пространственное планирование
Тип статьи: обзорная статья

Принята: 01.03.2018; Рецензирована: 20.11.2018; Одобрена: 22.11.2018;
Процентное соотношение участия в подготовке статьи: W. Wiśniewski – 45%; G. Sobieszek – 45%; B. Połeć – 10%;
Идентификаторы ORCID авторов: W. Wiśniewski – 0000-0002-9106-5306; G. Sobieszek 0000-0001-9341-0743; B. Połeć – 0000-0003-2054-8068;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 150–169, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.11;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Wprowadzenie

Globalizacja przepływu ludzi, technologii oraz usług sprawiła, iż mówimy o obecnym świecie jak o „globalnej wiosce". Podstawą każdej dużej gospodarki światowej jest bez wątpienia przemysł ciężki, a w szczególności przemysł chemiczny

Background

The global freedom of movement of people, technologies and services has led to the world's becoming a global village. Clearly, the foundation of every world economy with a global reach is heavy industry, particularly chemical and petrochemical. To

i petrochemiczny. Aby mogły powstać wystarczające ilości podstawowych surowców do produkcji paliw, tworzyw sztucznych, preparatów kosmetycznych czy nawozów konieczna jest budowa dużych zakładów przemysłowych i baz magazynowych pewnych substancji, które w świetle posiadanych właściwości fizykochemicznych są uznawane za niebezpieczne. Na poziomie międzynarodowym, jak i europejskim wprowadzono systemy klasyfikacji substancji niebezpiecznych, tj. Globalny Zharmonizowany System Klasyfikacji i Znakowania Chemikaliów (GHS) [6] opracowany w ramach Organizacji Narodów Zjednoczonych (ONZ) oraz rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (CLP) [7], które stanowi implementację w Unii Europejskiej (UE) systemu GHS.

Przetwarzanie i magazynowanie dużych ilości substancji niebezpiecznych od zawsze stanowiło źródło zagrożeń dla zdrowia i życia ludzi, mienia oraz środowiska naturalnego. Poważne awarie, począwszy od wybuchu cykloheksanu w zakładzie Nypro Limited w miejscowości Flixborough w Wielkiej Brytanii (1974), uwolnienia TCDD w zakładzie ICMESA (Roche Group) w miejscowości Seveso we Włoszech (1976), uwolnienia izocyjanianu metylu w postaci gazu z fabryki pestycydów firmy Union Carbide w miejscowości Bhopal w Indiach (1994), aż po katastrofy współczesne, takie jak wybuch chmury gazowej (VCE) w rafinerii BP w Texas City w USA (2005), pożar zbiorników magazynowych w Bouncefield w Wielkiej Brytanii (2005) czy wyciek ropy na platformie Deepwater Horizon w Zatoce Meksykańskiej (2010) dość jednoznacznie obrazują potencjał zagrożeń związanych z substancjami niebezpiecznymi.

W perspektywie europejskiej odpowiedzią na nagły wzrost ryzyka wystąpienia awarii w zakładach przemysłowych było opracowanie i wdrożenie tzw. dyrektyw Seveso, począwszy od Seveso I (1982) [3], Seveso II (1996, 2003) [4] na Seveso III (2012) [5] kończąc.

W Polsce również funkcjonują zakłady przemysłowe, które wykorzystują do produkcji lub magazynują duże ilości substancji niebezpiecznych. Krajowe regulacje prawne w tym zakresie zawierają się w kolejnych nowelizacjach ustawy – Prawo ochrony środowiska [2].

Prowadzący zakłady o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej [2], zgodnie z wymogami ustawy – Prawo ochrony środowiska, są zobowiązani do sporządzania raportu o bezpieczeństwie. Jednym z podstawowych elementów tego raportu jest opis zidentyfikowanych zagrożeń i oceny ryzyka wystąpienia poważnej awarii oraz informacje o środkach koniecznych do zapobiegania awariom.

Mnogość możliwych do wystąpienia zdarzeń awaryjnych w tego typu zakładach powoduje konieczność ich grupowania, w celu wyłonienia zbioru zdarzeń reprezentatywnych. Zdarzenia te, nazywane reprezentatywnymi zdarzeniami awaryjnymi (RZA), stanowią punkt wyjścia do dalszej analizy ryzyka wystąpienia poważnej awarii przemysłowej. Dla każdego z takich zdarzeń sporządzany jest opis jego przebiegu, czyli scenariusz. Definiuje on anatomię lub mechanizm powstawania awarii/wypadku, obrazując przewidywaną sekwencję zdarzeń, prowadzącą od przyczyn do niepożądanych skutków.

supply sufficient amounts of basic raw materials to produce fuels, plastics, cosmetic preparations and fertilisers, it is necessary to build large industrial establishments and warehouse complexes for certain substances with hazardous physical and chemical characteristics. Hazardous substance classification systems were introduced at both international and European levels. These include the Global Harmonized System of Classification and Labelling (GHS) [6] developed by the United Nations and the Regulation (EC) No 1272/2008 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2008 on classification, labelling and packaging of substances and mixtures, (CLP) [7], which is an EU implementation of the GHS system.

The processing and storage of large amounts of hazardous substances has always been a source of hazard for the health and lives of people, property and the natural environment. Serious accidents, from the cyclohexane explosion at Nypro Limited in the UK town of Flixborough (1974), the release of TCDD from an ICMESA (Roche Group) plant in Seveso, Italy (1976), and the release of methyl isocyanate gas from a Union Carbide pesticide factory in Bhopal, India (1994), to more recent disasters, such as the vapour cloud explosion (VCE) in a BP refinery in Texas City, USA (2005), the fire of oil storage containers in Bouncefield, UK (2005), or the Deepwater Horizon oil spill in the Gulf of Mexico (2010) leave no doubt as to the dangers involved in the processing of hazardous substances.

The European response to the sudden increase in the risk of industrial accidents was the preparation and implementation of the so-called Seveso Directives – Seveso I (1982) [3], Seveso II (1996, 2003) [4] and Seveso III (2012) [5].

Poland is also home to industrial plants which process or store substantial amounts of hazardous substances. The country's legal regulations in this respect are contained in the successive amendments to the act on the Environmental Protection Law [2].

As per the requirements of the Environmental Protection Law, entities managing upper-tier establishments which have a high risk of serious industrial accidents [2] are obliged to prepare safety reports. The basic elements of this report include a description of the identified hazards, an assessment of the risk of serious accidents and information about the measures necessary to prevent them.

The multitude of potential industrial accidents which can occur in such establishments makes it necessary to group them in order to create a set of representative accidents. Such events, called representative accidents (RA), are a starting point a the further analysis of the risk of a serious industrial accident. Every such event is described in terms of its course, i.e. a scenario is prepared for it. It defines the "anatomy" or mechanism of the failure/accident, representing the projected sequence of events leading from the causes to undesired consequences.

 ISSN 1895-8443

Podstawowe akty prawne regulujące obszar poważnych awarii przemysłowych oraz bezpiecznych odległości

Najważniejszym, i w gruncie rzeczy jedynym aktem prawnym, formułującym krajową doktrynę zapobiegania poważnym awariom przemysłowym, jest ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz. U. z 2018 r., poz. 799 ze zm.). Zawiera ona zarówno szczegółowe wytyczne dla prowadzących zakłady, które stwarzają ryzyko wystąpienia poważnej awarii przemysłowej, jak i dla organów administracji publicznej. W aktach wykonawczych do ww. ustawy sprecyzowane są natomiast wymagania formalne i merytoryczne dotyczące zasad klasyfikacji substancji, kwalifikacji zakładu oraz sporządzania dokumentacji. Jednocześnie ustawa ta w art. 73 określa uwarunkowania położenia zakładów stwarzających ryzyko wystąpienia awarii z uwzględnieniem konieczności zachowania ładu w obszarze planowania i zagospodarowania przestrzennego. Poszczególne zapisy tego artykułu, co prawda odnoszą się do różnych sytuacji formalnoprawnych zakładu (zakład istniejący, nowo projektowany, rozbudowujący się), jednakże posługują się ogólnikowymi stwierdzeniami w zakresie zapewnienia bezpieczeństwa i uwzględnienia zagrożeń w procesie planistycznym. Mowa tu w szczególności o tzw. bezpiecznej odległości. Brak ujęcia w ustawie jej definicji tworzy próżnię w przedmiocie jej stosowania. Ponadto podnoszona wielokrotnie konieczność zachowania bezpiecznej odległości nie znajduje jak dotąd kontynuacji, poza zapisem art. 73a, który określa, iż minister właściwy do spraw środowiska w porozumieniu z ministrem właściwym do spraw wewnętrznych i ministrem właściwym do spraw budownictwa, lokalnego planowania i zagospodarowania przestrzennego oraz mieszkalnictwa określi, w drodze rozporządzenia, sposób ustalania bezpiecznej odległości, rodzaje poważnych awarii przemysłowych, których potencjalne skutki należy uwzględnić przy ustalaniu bezpiecznej odległości oraz parametry graniczne oddziaływania potencjalnych skutków poważnych awarii przemysłowych w zakresie palności, wybuchowości i toksyczności substancji niebezpiecznych, których miejsca występowania należy uwzględnić przy ustalaniu bezpiecznej odległości.

Regulacje prawne w przedmiocie kształtowania ładu przestrzennego są zawarte w ustawie z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (t.j. Dz. U. z 2018 r. poz. 1945). Co do kierunku zapisy te są zbieżne z treścią art. 73 ustawy prawo ochrony środowiska. Odnoszą się jednak w sposób władczy, wskazując organy administracji (Państwowa Straż Pożarna, Inspekcja Ochrony Środowiska), które biorąc udział w procesie kształtowania ładu przestrzennego, zajmują stanowisko w zakresie przeznaczenia przestrzeni w sąsiedztwie zakładu, jak i dopuszczenia lokalizacji nowego zakładu w już ukształtowanej relacji przestrzennej.

The core legislation for serious industrial accidents and safety distances

The most important and, in fact, the only piece of legislation formulating the national doctrine of preventing major industrial accidents is the Act of 27 April 2001, Environmental Protection Law (consolidated text, Journal Of Laws of 2018, item 799, as amended). It contains detailed guidelines both for the managers of establishments with a risk of major industrial accident and public administration bodies. The secondary legislation to this Act specifies the formal and technical requirements regarding the rules for classifying substances, qualifying establishments and preparing documentation. At the same time, Art. 73 of this Act specifies the conditions for locating establishments with a risk of industrial accidents taking into account the need to maintain order in terms of land use and spatial planning. The specific provisions of this article, while covering various formal and legal situations at an establishment (existing, newly designed, expanding establishment), use broad statements in referring to the issue of ensuring safety and taking hazards into account in the planning process. This is primarily the case with regard to the maintenance of safety distance. The fact that there is no definition of safety distance in the Act leads to the lack of its application. In addition, the need to maintain safety distance, already postulated numerous times, has not been further legislated, except for Article 73a, which provides that the minister in charge of the environment in agreement with the minister in charge of internal affairs and the minister in charge of construction, local planning, zoning and housing policy shall define, by way of a regulation, the method of defining safety distance and the types of major industrial accidents the potential consequences of which should be taken into account in determining safety distance and the threshold parameters of impact of the potential consequences of major industrial accidents in terms of flammability, explosiveness and toxicity of hazardous substances whose placement must be considered when defining safety distance.

The legal regulations on spatial governance are contained in the Act of 27 March 2003 on Land Use and Spatial Planning (consolidated text, Journal of Laws of 2018, item 1945). These provisions essentially correspond to the contents of Article 73 of the Environmental Protection Law. However, they refer to authority, indicating the administrative bodies (State Fire Service, Inspectorate of Environmental Protection) which, as participants in the process of spatial governance, take a stand on specifying the intended purpose of spaces adjoining industrial establishments and the approval of the location of a new establishment in an already developed spatial relations.

Skrócona charakterystyka województwa mazowieckiego

Województwo mazowieckie położone jest na obszarze Niziny Mazowieckiej nad rzeką Wisłą. Średnia wysokość

Brief overview of the Mazowieckie Voivodeship

The Mazowieckie Voivodeship is located in the area of the Mazovian Lowland on the Vistula River. The average elevation

terenu waha się od 90 do 120 m n.p.m. Zlokalizowane jest między 19°15′33″ a 23°07′42″ dł. geogr. wschodniej a 51°00′48″ a 53°28′54″ szer. geogr. północnej. W centrum Niziny znajduje się Kotlina Warszawska, którą otaczają wyniesione do 230 m wysoczyzny. Przeważają płaskie lub lekko faliste równiny moreny dennej. W niektórych miejscach występują wzgórza moren czołowych oraz głęboko wcięte doliny rzeczne. Długość granic z sąsiednimi województwami wynosi z warmińsko-mazurskim: 218 km, z podlaskim: 358 km, z lubelskim: 372 km, ze świętokrzyskim: 203 km, z łódzkim: 323 km, z kujawsko-pomorskim: 195 km. Łączna długość granic województwa wynosi 1 669 km. Powierzchnia województwa wynosi 35 558,47 km^2, co stanowi 11,4% obszaru Polski. Województwo mazowieckie jest w chwili obecnej największym terytorialnie województwem w Polsce. Województwo liczy ogółem 5 349 114 (13,91% ludności kraju) mieszkańców, w tym w Warszawie 1 748 920 (ok. 32,7% ludności województwa). Średnia gęstość zaludnienia województwa wynosi 150,4 osób/km^2, w Warszawie 3 381 osób/km^2. Ludność województwa mieszka w większości w 85 miastach – 64,28% ludności województwa [9, 18].

Zgodnie z podziałem administracyjnym kraju, obowiązującym od 1 stycznia 1999 r. i zmienionym w 2002 r., w woj. mazowieckim wydzielono 5 miast na prawach powiatu, w tym Warszawę i 4 tzw. powiaty grodzkie Płock, Radom, Siedlce, Ostrołękę oraz 37 powiatów ziemskich. Obszar województwa podzielony jest obecnie na 314 gmin, w tym 35 miejskich, 50 miejsko-wiejskich i 229 wiejskich. Około 17% całej powierzchni województwa stanowią tereny zurbanizowane, pozostałą część stanowią użytki rolne oraz lasy. Zabudowa zwarta dominuje w aglomeracjach miejskich [18].

Mazowsze z racji centralnego położenia oraz lokalizacji miasta stołecznego Warszawy stanowi dogodny obszar do lokalizowania obiektów przemysłowych. Największy obszar przemysłowy, tj. teren zakładu produkcyjnego PKN ORLEN S.A. w Płocku, jest zlokalizowany w granicach administracyjnych miasta Płock.

Uchwałą nr 180/14 z dnia 7 lipca 2014 r. Sejmik Województwa Mazowieckiego przyjął Plan Zagospodarowania Przestrzennego Województwa Mazowieckiego (Dz. Urz. z dnia 15 lipca 2014 r. poz. 6868). W powyższym planie ujęto tematykę z zakresu zagrożenia poważnymi awariami przemysłowymi.

Zakłady o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej w Polsce i na Mazowszu

Według danych Głównego Inspektoratu Ochrony Środowiska [20] na dzień 31 grudnia 2015 r. w całym kraju zewidencjonowane zostały 182 zakłady o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej (ZoDR). Liczbę zakładów ZoDR w podziale na województwa przedstawia ryc. 1.

is between 90 and 120 metres (above sea level). It is located between 19°15′33″ and 23°07′42″ E and between 51°00′48″ and 53°28′54″ N. In the middle of the Lowland stretches the Warsaw Basin, which is surrounded by uplands with elevations up to 230 m. The land is dominated by flat or slightly waved plains of a ground moraine. Some locations feature terminal moraine hills and steep river valleys. The length of the boundaries with the neighbouring voivodeships is as follows: Warmińsko-Mazurskie 218 km, Podlaskie: 358 km, Lubelskie: 372 km, Świętokrzyskie: 203 km, Łódzkie 323 km, Kujawsko-Pomorskie 195 km. The total length of the voivodeship's boundaries is 1,669 km. The Mazowickie Voivodeship's area is 35,558.47 km^2, which is 11.4% of the total area of Poland. It is currently the largest voivodeship in Poland in terms of area. The voivodeship has a population of 5,349,114 (13.91% of Poland's population), of which 1,748,920 people live in Warsaw (approx. 32.7% of the voivodeship's population). The average population density is 150.4 per km^2, in Warsaw – 3,381 per km^2. Most residents of the Mazovian Voivodeship live in its 85 cities and towns, which are home to 64.28% of the population [9, 18].

In accordance with the country's administrative division in force since 1 January 1999 and amended in 2002, the Mazowieckie Voivodeship has 5 cities with district rights, including Warsaw, 4 townships – Płock, Radom, Siedlce, Ostrołęka and 37 country districts. The area of the voivodeship is currently divided into 314 communes, including 35 urban communes, 50 urban-rural communes and 229 rural communes. About 17% of the voivodeship's area is covered by urbanised areas and the remaining part is largely comprised of agricultural land and forests. High-density development dominates in agglomerations [18].

Due to its central location and the presence of Poland's capital city (Warsaw), the Mazowieckie Voivodeship is a convenient location for industrial establishments. The largest industrialised area, i.e. the area of the PLN ORLEN S.A. industrial plant in Płock, is located within the administrative borders of Płock.

Pursuant to Resolution No 180/14 of 7 July 2014, the Parliament of the Mazowieckie Voivodeship adopted the Master Zoning Plan for the Mazowieckie Voivodeship (Journal of Laws of 15 July 2014, item 6868). This plan included a discussion of issues connected with major industrial accidents.

Upper-tier establishments in Poland and the Mazowieckie Voivodeship

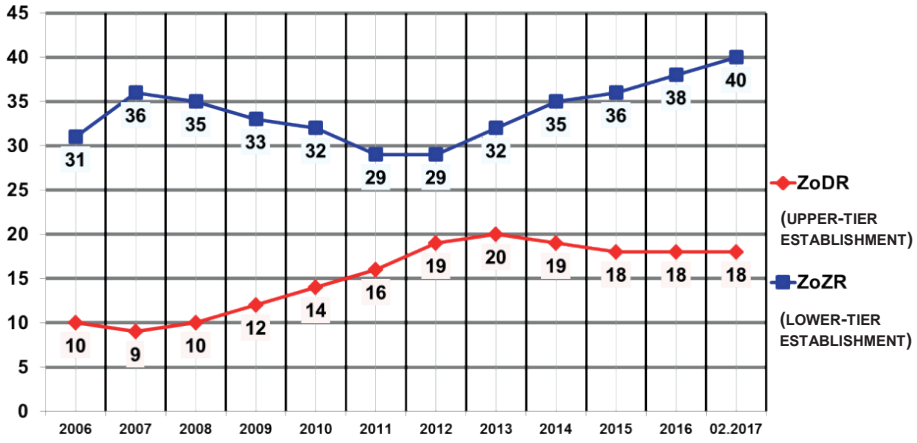
According to data from the Chief Inspectorate of Environmental Protection [20], as at 31 December 2015, there were 182 identified upper-tier establishments (UTE) in Poland. Fig. 1 presents the number of UTE divided into voivodeships .

ISSN 1895-8443

Rycina 1. Liczba zakładów ZoDR w układzie województw – stan na dzień 3 czerwca 2015 r.
Figure 1. Number of upper-tier establishments per voivodeship – as at 3 June 2015
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [20].
Source: Own elaboration based on [20].

Na terenie województwa mazowieckiego na przestrzeni lat 2006–2017 liczba zakładów o dużym ryzyku (ZoDR) kształtowała się następująco:

The number of upper-tier establishments (UTE) in the Mazowieckie Voivodeshi p in the years 2006-2017 was as follows:



Rycina 2. Zestawienie liczby zakładów „sevesowskich" na terenie Mazowsza w latach 2006–2017
Figure 2. The number of "Seveso" establishments in Mazovia in 2006–2017
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [18].
Source: Own elaboration based on [18].

Zgodnie z powyższym, wg stanu na miesiąc lipiec 2017 r., na terenie Mazowsza było zlokalizowanych 18 zakładów o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej. Rozmieszczenie poszczególnych zakładów w układzie województwa przedstawiono na ryc. 3.

As per the above data, as at July 2017, 18 upper-tier establishments were located in the Mazowieckie Voivodeship. Fig. 3 presents the locations of individual establishments in the voivodeship.

Rycina 3. Lokalizacja zakładów o dużym ryzyku na terenie województwa mazowieckiego
Figure 3. Location of upper-tier establishments in the Mazowieckie Voivodeship
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [18].
Source: Own elaboration based on [18].

Analiza profilu ich działalności wykazała przede wszystkim, że najwięcej jest zakładów, w których magazynowane są i dystrybuowane środki ochrony roślin, aerozole, środki toksyczne (w opakowaniach jednostkowych i zbiorczych). W tabeli 1 dokonano zestawienia profili działalności zakładów o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej.

A business profile analysis showed the prevalence of establishments which store and distribute pesticides, aerosols, toxic agents (in unit and bulk packaging). Table 1 lists the business profiles of upper-tier establishments.

Tabela 1. Zestawienie profili działalności zakładów o dużym ryzyku.
Table 1. Summary of the business profiles of upper-tier establishments.

Lp./ No.	Profile działalności zakładów ZDR (wiodące)/Business profiles of (leading) upper-tier establishments	Liczba zakładów /Number of establishments
1	2	3
1	Przemysł rafineryjny i petrochemiczny / refinery and petrochemical industry	3
2	Produkcja pian (budownictwo) / manufacture of construction foams	1
3	Produkcja środków czyszczących i piorących / manufacture of cleaning and washing agents	1
4	Magazynowanie i dystrybucja paliw płynnych (w tym paliwa lotniczego) / storage and distribution of liquid fuels (including jet fuel)	3
5	Magazynowanie i dystrybucja gazu płynnego / storage and distribution of liquid gas	2
6	Magazynowanie surowej ropy naftowej / storage of crude oil	1
7	Produkcja materiałów wybuchowych / manufacture of explosive materials	1
8	Magazynowanie i dystrybucja środków ochrony roślin, aerozoli, środków toksycznych (opakowania jednostkowe i zbiorcze) / storage and distribution of pesticides, aerosols, toxic agents (unit and bulk packaging)	5
9	Produkcja pasz / Manufacture of feedstuffs	1

Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Przedmiotowa analiza profili działalności została przeprowadzona dla 18 zakładów o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej [19], tj.:

1) Baza Paliw OLPP Sp. z o.o. nr 5 w Emilianowie, 05-205 Klembów;
2) PERN S.A. Baza w Miszewku Strzałkowskim, 09-472 Słupno;
3) Basell ORLEN Polyolefins Sp. z o.o., ul. Chemików 7, 09-411 Płock;
4) Baza Magazynowa nr 101 Mościska PKN ORLEN S.A., 05-080 Izabelin, ul. Estrady 8;
5) MESKO S.A. w Skarżysku-Kamiennej Oddział w Pionkach, ul. Zakładowa 7, 26-670 Pionki;
6) Zakład Produkcyjny w Płocku Polskiego Koncernu Naftowego ORLEN S.A., ul. Chemików 7, 09-411 Płock;
7) Terminal Gazu Płynnego w Płocku Orlen Paliwa Sp. z o.o., 09-400 Płock, ul. Długa 1;
8) Raben Logistics Polska Spółka z o.o., ul. Chrzanowska 7, 05-825 Grodzisk Mazowiecki;
9) Centralny Magazyn Dystrybucyjny Bayer CropScience, Pass 20 H, 05-870 Błonie;
10) Soudal Manufacturing Sp. z o.o., ul. Wspólna 21, 26-670 Pionki;
11) Reckit Benckiser Production (Poland) Sp. z o.o., Fabryka w Nowym Dworze Mazowieckim, ul. Okunin 1, 05-100 Nowy Dwór Mazowiecki;
12) PCC Exol S.A., Wytwórnia Etoksylatów – Oksylakilatów, ul. Długa 14, 09-411 Płock;
13) FERTICO Sp. z o.o., ul. Bieniewicka 43, 05-870 Błonie;
14) Warter Fuels S.A. w Płocku, ul. Chemików 5, 09-411 Płock;
15) Wilshire Holding Sp. z o.o., Pass 20N, 05-870 Błonie;
16) Wytwórnia Pasz CEDROB PASZE w Raciążu, ul. Płocka 78, 09-140 Raciąż;
17) PPH MARK-GAZ, Rozlewnia Gostynin, 09-500 Gostynin, ul. Płocka 66/68;
18) Ekonip Spółka z.o.o., Radziejowice 96-325, ul. Przemysłowa 1a.

The business profile analysis was conducted for 18 upper-tier establishments [19], i.e.:

1) Fuel Depot of OLPP Sp. z o.o. No. 5 in Emilianów, 05-205 Klembów;
2) PERN S.A. Depot in Miszewku Strzałkowskim, 09-472 Słupno;
3) Basell ORLEN Polyolefins Sp. z o.o., ul. Chemików 7, 09-411 Płock;
4) Storage Complex No. 101 Mościska PKN ORLEN S.A., 05-080 Izabelin, ul. Estrady 8;
5) MESKO S.A. in Skarżysko-Kamienna, Branch in Pionki, ul. Zakładowa 7, 26-670 Pionki;
6) Production Plant in Płock of Polski Koncern Naftowy ORLEN S.A., ul. Chemików 7, 09-411 Płock;
7) Liquid Gas Terminal in Płock, Orlen Paliwa Sp. z o.o., 09-400 Płock, ul. Długa 1;
8) Raben Logistics Polska Spółka z o.o., ul. Chrzanowska 7, 05-825 Grodzisk Mazowiecki;
9) Central Distribution Warehouse Bayer CropScience, Pass 20 H, 05-870 Błonie;
10) Soudal Manufacturing Sp. z o.o., ul. Wspólna 21, 26-670 Pionki;
11) Reckit Benckiser Production (Poland) Sp. z o.o., Plant in Nowy Dwór Mazowiecki, ul. Okunin 1, 05-100 Nowy Dwór Mazowiecki;
12) PCC Exol S.A., Wytwórnia Etoksylatów – Oksylakilatów, ul. Długa 14, 09-411 Płock;
13) FERTICO Sp. z o.o., ul. Bieniewicka 43, 05-870 Błonie;
14) Warter Fuels S.A. in Płock, ul. Chemików 5, 09-411 Płock;
15) Wilshire Holding Sp. z o.o., Pass 20N, 05-870 Błonie;
16) Wytwórnia Pasz CEDROB PASZE w Raciążu, ul. Płocka 78, 09-140 Raciąż;
17) PPH MARK-GAZ, Rozlewnia Gostynin, 09-500 Gostynin, ul. Płocka 66/68;
18) Ekonip Spółka z.o.o., Radziejowice 96-325, ul. Przemysłowa 1a.

Etap tworzenia reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych w procesie analizy i oceny ryzyka

Wszelkie działania realizowane w obszarze zapobiegania poważnym awariom i ograniczaniu ich skutków poprzedzone są analizą i oceną ryzyka. Jedną z szeroko stosowanych w tym zakresie metod jest analiza warstw zabezpieczeń (AWZ), w której konieczne jest wcześniejsze wytypowanie scenariusza awaryjnego. W procesie oceny ryzyka wyróżnia się następujące etapy [14]:

1. Charakterystyka instalacji – zgromadzenie informacji o danej instalacji, substancjach, jakie się w niej znajdują oraz parametrach prowadzonego procesu.
2. Identyfikacja źródeł zagrożeń – określenie parametrów instalacji, substancji i procesu, które mogą powodować zagrożenie.

The stage of creating representative accident scenarios in the process of risk analysis and assessment

All measures for the prevention of major industrial accidents and the reduction of their impact are preceded by a risk analysis and assessment. One of the broadly used methods in this respect is the Layer of Protection Analysis (LOPA), which requires the early selection of an accident scenario. The following stages are distinguished in the process of risk assessment [14]:

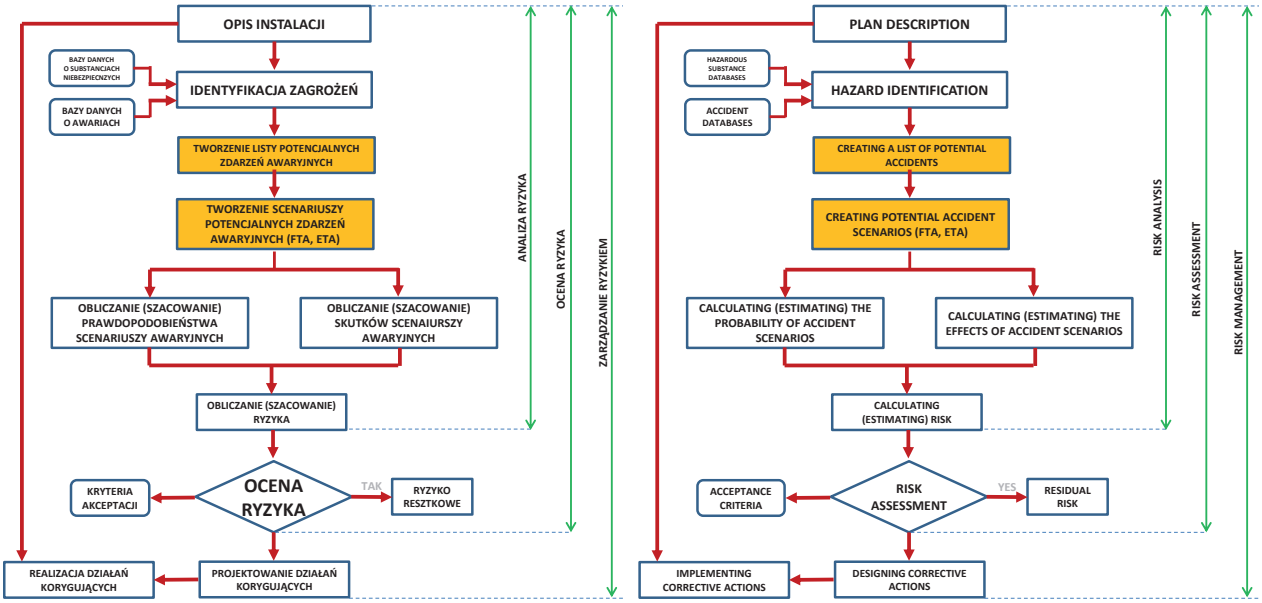
1. Plant characteristics – collecting information about a specific plant, the substances processed in it and process parameters.
2. Hazard source identification – specifying the parameters of the plant, substances and processes which might cause hazards.

3. Scenariusz awaryjny – dokonanie wyboru zdarzeń awaryjnych, wybór reprezentatywnych zdarzeń awaryjnych (RZA) i sporządzenie dla każdego RZA osobno modelu scenariusza awaryjnego.
4. Zintegrowana ocena ryzyka dla wszystkich scenariuszy reprezentatywnych zdarzeń awaryjnych.

Na ryc. 4 przedstawiono schemat zarządzania ryzykiem wystąpienia poważnej awarii przemysłowej, na którym wskazano etap tworzenia scenariuszy awaryjnych w procesie oceny ryzyka.

3. Accident scenario – selecting potential accidents, representative accidents (RA) and preparing a separate accident scenario model for each RA.
4. Integrated risk assessment for all representative accident scenarios.

Fig. 4 presents a diagram of risk management for major industrial accidents, indicating the stage of developing accident scenarios in the risk assessment process.



Rycina 4. Schemat zarządzania ryzykiem wystąpienia poważnych awarii przemysłowych
Figure 4. Risk management diagram for major industrial accidents
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [14].
Source: Own elaboration based on [14].

Zdarzenia reprezentatywne to inaczej takie zdarzenia, które posiadają, każde w określonym obszarze, cechy charakterystyczne dla wybranej grupy zdarzeń podstawowych. Pozwalają one ograniczyć szybki i trudny do kontrolowania przyrost danych tworzonych w trakcie analizy ryzyka.

Każde zdarzenie ze zbioru RZA podlega rozwinięciu w reprezentatywny scenariusz awaryjny (RSA), rozumiany jako mechanizm powstawania ciągów zdarzeń awaryjnych, rozpoczynających się od zdarzeń inicjujących, aż do konkretnych skutków zagrożeń chemicznych [14].

Dobrze przygotowane scenariusze awaryjne dostarczają całościowych informacji o możliwości wystąpienia zdarzenia w instalacji chemicznej oraz jego spodziewanych skutków dla pracowników, ludności, majątku i środowiska naturalnego.

Poważne awarie podlegające analizie ryzyka są głównie źródłem trzech rodzajów zagrożeń:

– oddziaływania promieniowania cieplnego (gęstości strumienia ciepła);
– oddziaływania nadciśnienia;
– oddziaływania efektu toksycznego.

Powyższym rodzajom zagrożeń przypisano wartości progowe ich oddziaływania oraz przewidywane skutki.

Representative accidents are such events that have, each in a specific area, the features distinctive for a selected group of underlying events. They reduce the fast and hard-to-control accumulation of data generated during risk analysis.

Each event in a set of RA is developed into a representative accident scenario (RAS), understood as the mechanism of development of potential accident series from initiating events to the specific consequences of chemical hazards [14].

Well-prepared accident scenarios provide comprehensive information on the possibility of accident occurrence in a chemical plant and the expected consequences for the personnel, public, property and natural environment.

Major accidents covered by risk analysis are mainly the source of three types of hazards:

– thermal radiation (heat flux density) hazard
– overpressure hazard;
– toxicity hazard.

The above types of hazards were assigned with their threshold impact values and their consequences.

Tabela 2. Oddziaływanie promieniowania cieplnego na ludzi i sprzęt (elementy instalacji)
Table 2. Effects of thermal radiation on humans and equipment (plant elements)

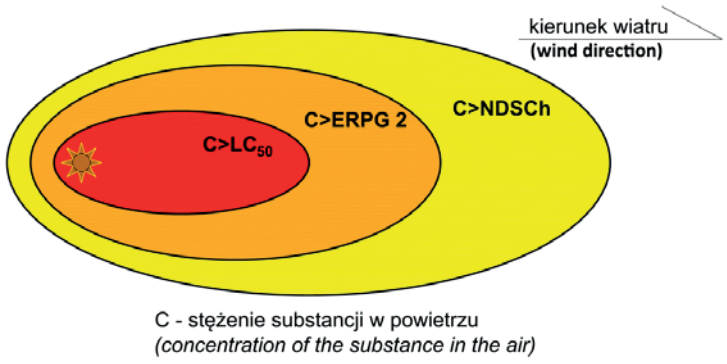
Promieniowanie cieplne/ Thermal radiation [kW/m^2]	Skutki dla sprzętu/Effects on equipment	Skutki dla ludzi/Effects on humans
1	2	3
1,2	–	Nie stwarza dyskomfortu przy długotrwałym narażeniu/No discomfort caused on prolonged exposure
2.1	–	Nie stwarza dyskomfortu przy długotrwałym narażeniu/Minimum value to cause pain after 1-minute exposure
4*	Uszkodzenie powierzchni z tworzyw sztucznych i powłok lakierniczych/Damage to plastic surfaces and coating.	Powoduje ból przy narażeniu dłuższym niż 20 s/Causes pain following exposure longer than 20 s
12,5**	Topienie się rur z tworzywa sztucznego/Melting of plastic pipes	1% ofiar śmiertelnych po 1 min. narażenia, oparzenia I stopnia po 10 s narażenia/1% fatalities following 1 minute exposure time, first-degree burns following 10 s exposure
25	Topienie się rur z tworzywa sztucznego/ Ignition of wood after very long exposure	100% ofiar śmiertelnych po 1 min. narażenia, znaczne urazy po 10 s narażenia/100% fatalities following 1 minute exposure time, serious injuries after 10 seconds of exposure
37,5	Topienie się rur z tworzywa sztucznego/ Damage to devices comprising the process plant.	100% ofiar śmiertelnych po 1 min. narażenia, 1% ofiar śmiertelnych po 10 s narażenia/100% fatalities following 1 minute exposure time, 1% fatalities following 10 s exposure
* Przyjęte kryteria graniczne na potrzeby planowania i zagospodarowania przestrzennego / cut-off criteria for land use and spatial planning ** Przyjęte kryteria graniczne wystąpienia efektu domino / cut-off criteria for domino effect		

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [13, 14, 22].
Source: Own elaboration based on [13, 14, 22].

Tabela 3. Oddziaływanie nadciśnienia na ludzi
Table 3. Effects of overpressure on humans

Nadciśnienie/Overpressure [kPa]	Skutki/Effects
1	2
100–133	50% uszkodzenie błony bębenkowej ucha (u osób poniżej 20 roku życia)/50% eardrum damage (in people under 20 years of age)
200–233	50% uszkodzenie błony bębenkowej ucha (u osób powyżej 20 roku życia) 50% eardrum damage (in people over 20 years of age)
133–200	Znaczne uszkodzenia płuc/Major lung damage
200–300	Graniczna wartość wystąpienia ofiar śmiertelnych/Cut-off value for fatalities
350–500	50% ofiar śmiertelnych/50% fatalities
500–800	100% ofiar śmiertelnych/100% fatalities

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [13, 14, 22].
Source: Own elaboration based on [13, 14, 22].



Rycina 5. Rozkład stref zagrożeń toksycznych
Figure 5. Distribution of toxic zones
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Tabela 4. Oddziaływanie nadciśnienia na budynki i instalacje.
Table 4. Effects of thermal radiation on buildings and installation elements

Nadciśnienie/ Overpressure [kPa]	Skutki / Effects
1	2
0,14	Dokuczliwy hałas, szum (137 dB)/ Disturbing noise (137 dB)
0,21	Pękanie dużych szyb okiennych (szkło okienne)/ Cracking of large window glass panes (window glass)
0,3	Głośny huk (143 dB)/ Extremely loud noise (143 dB)
0,7	Rozrywanie ram okiennych/ Fracturing window frames
2,7	Wartość bezpieczna dla budynku/ Safe value for a building
2,8–3*	Ograniczone uszkodzenia dla konstrukcji/ Limited structural damage
4,8	Uszkodzenia konstrukcji budynku/ Structural damage
6,9	Częściowe zburzenia budynków/ Partial destruction of buildings
6,9–13,8	Zniszczenie płyt gipsowo - kartonowych, elementów stalowych i aluminiowych, uszkodzenie mocowań i posadowień elementów konstrukcyjnych/ Destruction of gypsum plasterboards, steel and aluminium elements, damage to mountings and foundations of structural elements
9	Lekkie odkształcenia ramowej konstrukcji budynku wykonanej ze stali/Slight deformations of the building's steel framework structure
13,8–14**	Częściowe zawalenie się ścian i dachów budynków/Partial collapse of walls and roofs of buildings
14–20,7	Rozpadanie się niewzmocnionych ścian betonowych/ The collapse of non-reinforced concrete walls
15,8	Dolna granica nadciśnień poważnych uszkodzeń konstrukcji budowlanych
17,2	Zburzenie 50% domów murowanych/Collapse of 50% of masonry buildings
20,7	Niewielkie uszkodzenia ciężkich maszyn i urządzeń (o masie do 1500 kg), zniekształcenie i wyrwanie z posadowienia (fundamentu) ramowych konstrukcji stalowych/ Minor damage to heavy machinery and equipment (weighing up to 1,500 kg), deformation and pulling framework steel structures from the foundations
34,5–48,0	Prawie całkowite zniszczenie budynków/Nearly complete destruction of buildings
48	Wywrócenie załadowanych wagonów towarowych/Overturning of freight wagons with cargo
48,0–55,1	Zniszczenie ścian murowanych o grubości mniejszej o grubości mniejszej lub równej 0,3 m, wykonanych z cegły pełnej, zniszczenia zbiorników magazynowych powodujących masowe wypływy substancji, granica wystąpienia efektu domino (oddziaływania destruktywnego reprezentatywnego zdarzenia awaryjnego na sąsiednią instalacje lub obiekt)/Destruction of masonry walls with a thickness lower than or equal to 0.3 m, made of full brick, destruction of storage containers causing massive substance spills, the threshold of the domino effect (the destructive impact of a representative accident on the neighbouring plant or engineering structure)
62,1	Całkowite zniszczenie załadowanych, krytych wagonów towarowych/ Complete destruction of covered freight wagons with cargo
68,9	Całkowite zniszczenie budynków, przesunięcie i poważne uszkodzenia ciężkich maszyn i urządzeń (o masie do 3500 kg)/ Complete destruction of buildings, dislocation or major damage to heavy machinery and devices (weighing up to 3,500 kg)

* Przyjęte kryteria graniczne na potrzeby planowania i zagospodarowania przestrzennego/cut-off criteria for land use and spatial planning
** Przyjęte kryteria graniczne wystąpienia efektu domino/cut-off criteria for domino effect

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [13, 14, 22].
Source: Own elaboration based on [13, 14, 22].

Warto w tym miejscu podkreślić, iż na szczeblu centralnym jak dotąd nie pojawiły się rekomendacje w zakresie:

- metodyki oceny ryzyka wystąpienia poważnych awarii przemysłowych,
- rodzajów poważnych awarii, jakie należy rozpatrywać w procesie analizy ryzyka,
- oprogramowania wykorzystywanego do modelowania skutków uwolnień substancji niebezpiecznych do otoczenia,
- oprogramowania lub metodyki obliczeń (szacowania) wartości prawdopodobieństwa wystąpienia awarii.

Oznacza to, iż każdorazowo autor dokumentacji decyduje o wyborze stosowanego procesu analizy i oceny ryzyka. Powoduje to często dość znaczne rozbieżności w dokumentacji tych zakładów oraz utrudnia proces ich weryfikacji i oceny.

Do modelowania skutków uwolnień substancji niebezpiecznych do otoczenia autorzy dokumentacji posługiwali się przede wszystkim następującymi narzędziami informatycznymi:

- PHAST (DNV GL Group – Dania),
- RIZEX-2 (Rizikon – Ukraina),
- ALOHA (CAMEO – USA),
- EFFECTS (TNO – Holandia).

It should be emphasised here that no recommendations have been developed at the central level yet for the following.

- the methodology of assessing the risk of major industrial accidents,
- the types of major accidents which should be considered in the risk analysis process,
- the software used to model the impact of hazardous substance release to the environment,
- the software or computation (estimation) methodology of probability values for accidents.

This means that the authors of documents prepared for each establishment select analysis and risk assessment methods on a case-by-case basis. This often leads to considerable discrepancies in documentation between establishments and complicates the process of their verification and assessment.

The majority of documentation authors used the following software tools for modelling the effects of a potential hazardous substance release to the environment:

- PHAST (DNV GL Group – Denmark),
- RIZEX-2 (Rizikon – Ukraine),
- ALOHA (CAMEO – USA),
- EFFECTS (TNO – The Netherlands).

Reprezentatywne scenariusze awaryjne w zakładach o dużym ryzyku na Mazowszu

Analizę reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych przeprowadza się w następującym zakresie [19]:

- rodzaj oddziaływania,
- stosowane jednostki charakteryzujące wielkość oddziaływania,
- obszary oddziaływania,
- końcowe wartości ryzyka (kategorie),
- możliwość wystąpienia efektu domina.

W 18 zakładach o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej, zlokalizowanych na terenie województwa mazowieckiego, na potrzeby przeprowadzonej w 2017 roku analizy zagrożeń, wytypowano łącznie 284 reprezentatywne zdarzenia awaryjne, które następnie zostały rozwinięte w konkretne scenariusze awaryjne.

W tabeli 5 przedstawiono liczbę poszczególnych RSA przyporządkowanych do określonego rodzaju czynnika oddziałującego (stwarzającego zagrożenie).

Representative hazard scenarios in upper-tier establishments in the Mazowieckie Voivodeship

An analysis of representative accident scenarios covers the following aspects [19]:

- impact type,
- respective units characterising the magnitude of impact,
- impact areas,
- final risk values (categories),
- probability of domino effect occurrence.

A total of 284 representative accidents were selected for the purposes of the risk analysis conducted in 2017 in 18 upper-tier establishments located in the Mazowieckie Voivodeship. These representative accidents were then developed into specific accident scenarios.

Table 5 presented the number of each RAS assigned to a specific type of impact (hazard) factor.

Tabela 5. Zestawienie liczby reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych w zależności od stwarzanego rodzaju zagrożenia
Table 5. A summary of the number of representative accident scenarios depending on the type of hazard

Lp./No.	Czynnik oddziałujący/Impact factor	Liczba RSA/RES number
1	Promieniowanie cieplne / thermal radiation	207
2	Nadciśnienie / overpressure	149
3	Efekt toksyczny / toxic effect	81

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].
Source: Own elaboration based on [19].

Dla 130 scenariuszy wskazano, iż mogą wystąpić zarówno skutki oddziaływania promieniowania cieplnego, jak i nadciśnienia (wybuch i pożar instalacji), natomiast dla 19 scenariuszy określono, iż w wyniku awarii może dojść zarówno do pożaru, wybuchu, jak i utworzenia chmury toksycznej. Na potrzeby zobrazowania poszczególnych rodzajów zagrożeń w przedstawionych raportach o bezpieczeństwie posługiwano się następującymi jednostkami:

130 scenarios were found to potentially involve both thermal radiation and overpressure effects (an explosion and fire within the plant), and 19 scenarios were found to involve potential fire, explosion and toxic vapour cloud events. The following units were used for the purposes of visualising the individual types of hazards presented in the safety reports:

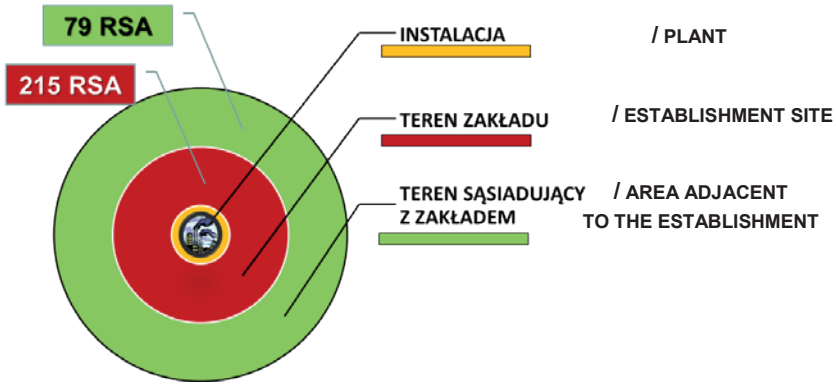
Tabela 6. Jednostki zastosowane w raportach o bezpieczeństwie
Table 6. Units used in the Safety Reports

Jednostka/Unit	kW/m^2	kPa	–
Wykorzystywane wartości/ Used values	1,6	3,5	ERPG1
	4	5	EGRP2
	5	7	ERPG3
	9,5	8	NDSCh
	10	10	NDS
	12	14	TCL0
	12,5	35	LC0
	25	42	IDLH
	37,5	45	–
	–	50	–
	–	100	–
	–	200	–

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].
Source: Own elaboration based on [19].

Przedstawione w analizie RSA ukierunkowano na rodzaje obszarów narażonych. W tej kwestii najbardziej istotnym zagadnieniem jest ocena oddziaływania awarii poza terenem zakładu. Rozpatrując wszystkie RSA, stwierdzono, iż oddziaływanie 215 RSA mieści się w granicach terenu, do którego tytuł prawny posiada prowadzący zakład, zaś dla 79 RSA stwierdzono możliwość oddziaływania na tereny sąsiadujące z terenem zakładu.

The RAS presented in the analysis focused on the types of endangered areas. In this respect the most important issue is to assess the impact of the accident outside the area of the establishment. The analysis of all RAS showed that the impact of 215 RAS is within the area of the establishment for which the manager has a legal title and 79 RAS were found to exert potential impact on the areas adjoining the area of the establishment.



Rycina 6. Podział reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych (RSA) w zależności od obszaru narażenia
Figure. 6. Division of representative accident scenarios (RAS) according to the exposure area.
Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].
Source: Own elaboration based on [19].

W ramach przeprowadzonego w 2017 roku badania dokonano również szczegółowej analizy wielkości i rodzajów obszarów znajdujących się poza terenem zakładu i jednocześnie objętych zasięgiem oddziaływania zagrożeń. Dane o tych obszarach zaczerpnięto z reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych opisanych w raportach o bezpieczeństwie. Ustalono, iż wielkość obszaru wynosi ok. 2300 ha, co stanowi w przybliżeniu kwadrat o boku długości ok. 4,8 km (odpowiednik powierzchni ok. 3220 standardowych boisk piłkarskich). Rodzaje terenów narażonych na oddziaływania poza terenem zakładu to: obszary leśne, pola uprawne, pojedyncza zabudowa mieszkaniowa, inne instalacje procesowe (obszar PKN ORLEN w Płocku, w obrębie którego poszczególne instalacje mogą na siebie oddziaływać w przypadku awarii) oraz obiekty magazynowe. Dla trzech zakładów stwierdzono oddziaływania na zwartą zabudowę mieszkaniową i biurową, jednakże dotyczy to zdarzeń, których oszacowane prawdopodobieństwo wystąpienia zawiera się na poziomie raz na milion lat.

W wyniku przeprowadzonych w roku 2017 analiz zagrożeń, przy zastosowaniu indywidualnej dla danego zakładu matrycy ryzyka, wynikowe wartości (kategorie) ryzyka wystąpienia danego zdarzenia kształtowały się następująco (zob. tabela 7).

The study conducted in 2017 included a detailed analysis of the sizes and types of areas located outside the area of the establishment and at the same time covered by the impact range of the threats. Information about these areas were extracted form representative accident scenarios described in the safety reports. It was found that this area was approx. 2,300 ha, which is roughly a square with the side of approx. 4.8 km (equivalent to the area of 3,220 standard football pitches). Types of areas endangered by impacts outside the area of the establishment are forest areas, arable land, single-family housing, other process plants (the area of PKN ORLEN in Płock within which the individual plants may affect each other in the event of an accident) and warehouses. Three establishments were found to affect high-density residential and office development, although this relates to events with the estimated probability of occurrence of once in 1 million years.

The hazard analyses conducted in 2017 using the risk matrices specific to each establishment yielded the following values (categories) of risk of occurrence for specific accidents (see Table 7).

Tabela 7. Zestawienie wartości (kategorii) ryzyka dla RSA
Table 7. Summary of risk categories for RES

Kategoria ryzyka/Risk category	Liczba RSA/RES number
1	2
A	86
TA	195
TNA	3
NA	0
Razem / Total	284

Poszczególne wynikowe kategorie ryzyka oznaczają [14]/The individual resulting risk categories are identified as [14]:
A – ryzyko akceptowane – nie wymagane są żadne dodatkowe środki bezpieczeństwa/acceptable risk – no extraordinary measures are required,
TA – ryzyko tolerowane akceptowane – stosowanie zasady ALARP (utrzymywanie ryzyka na poziomie tak niskim, jak to praktycznie możliwe, dokonać oceny alternatyw) / tolerable and acceptable risk – apply ALARP principle (risk shall be reduced as far as reasonably practicable, evaluate alternatives).
TNA – ryzyko tolerowane nieakceptowane – wprowadzić dodatkowe środki bezpieczeństwa w terminie 3–6 miesięcy/tolerable and unacceptable risk – extraordinary measures are required within 3–6 months,
NA – ryzyko nieakceptowane – zatrzymać instalację/unacceptable risk – stop the operation of the plant.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie [19].
Source: Own elaboration based on [19].

Ostatnim parametrem reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych, który wzięto pod uwagę, jest możliwość (potencjał) spowodowania wystąpienia efektu domino.

Pod pojęciem efekt domino należy rozumieć takie zdarzenie, w wyniku którego następuje uwolnienie substancji niebezpiecznych w określonej instalacji procesowej wtórnej wskutek oddziaływania efektów fizycznych związanych z uwolnieniem substancji niebezpiecznych w instalacji pierwotnej, znajdującej się w sąsiedztwie instalacji wtórnej [14].

Przeprowadzona w roku 2017 analiza zagrożeń wykazała, iż w wyniku wystąpienia 217 RSA może wystąpić efekt domino. Powyższe dotyczy 14 z 18 zakładów zlokalizowanych na terenie Mazowsza.

The last parameter of the representative accident scenarios taken into consideration is the probability (potential) of causing the domino effect.

The domino effect should be understood as an event which results in the release of hazardous substances in a specific secondary process plant as a result of the physical effects connected with the release of hazardous substances in the primary plant located in the vicinity of the secondary plant [14].

The hazard analysis conducted in 2017 demonstrated that the domino effect may occur for 217 RAS. The above figure includes 14 out of 18 establishments located in the Mazowieckie Voivodeship.

Bezpieczne odległości w planowaniu przestrzennym

Zgodnie z art. 13 obecnie obowiązującej Dyrektywy Seveso III [5] państwa członkowskie są zobligowane, aby w procesie planowania i zagospodarowania przestrzennego lub w ramach innych odpowiednich obszarów kształtowania lokalizacji zakładów i planowania przestrzennego uwzględniać cele odnoszące się do zapobiegania poważnym awariom przemysłowym jak również ograniczania ich skutków dla zdrowia ludzkiego i środowiska.

Dalej w art. 13 Dyrektywy Seveso III czytamy, że poszczególne państwa Unii Europejskiej mają spełniać powyższy obowiązek poprzez kontrolę:

- lokalizacji nowych zakładów;
- zmian w zakładach objętych art. 11 przedmiotowej Dyrektywy – czyli zmian w zakładach istniejących;

Safety distances in spatial planning

Pursuant to Article 13 of the currently applicable Seveso III Directive [5], Member States shall ensure that the objectives of preventing major accidents and limiting the consequences of such accidents for human health and the environment are taken into account in their land use policies or other relevant policies determining the siting of new establishments and land use.

Article 13 of the Seveso III Directive further stipulates that individual Member States of the European Union shall take into account the issue of major industrial accidents through controls on:

- the siting of new establishments;
- modifications to establishments covered by Article 11 of the Directive, i.e. changes to existing establishments;

– nowych obiektów budowlanych, inwestycji, takich jak połączenia transportowe, miejsca użyteczności publicznej i tereny zabudowy mieszkalnej usytuowane w pobliżu zakładów, gdzie lokalizacja lub inwestycje mogą być źródłem poważnej awarii lub mogą zwiększyć ryzyko poważnej awarii lub skutki takiej awarii [5, 11].

Zapisy określające zakres kontroli zostały transponowane w praktycznie niezmienionej formie do ustawy z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym, będącym aktem prawnym normującym kwestie planowania i zagospodarowania przestrzennego w Polsce [1]. Jako instytucje właściwe do zajmowania stanowiska w przedmiotowym zakresie podczas uchwalania studiów uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego czy wydawania decyzji o warunkach zabudowy wskazano organy Państwowej Straży Pożarnej i Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska.

W dalszej kolejności w art. 13 Dyrektywy Seveso III wskazano, iż w procesie planistycznym lub innym właściwym obszarze należy w sposób długoterminowy uwzględnić lokalizację zakładów „sevesowskich" poprzez:

a) utrzymanie bezpiecznych odległości między zakładami objętymi Dyrektywą Seveso a obszarami zabudowy mieszkalnej, budynkami i obszarami przestrzeni publicznej, obszarami wypoczynkowymi oraz, o ile to możliwe, głównymi szlakami służącymi do komunikacji;
b) ochronę obszarów wrażliwych ze względu na formy ochrony przyrody lub obszary szczególnego zainteresowania zlokalizowane w pobliżu zakładów, poprzez zachowanie bezpiecznych odległości lub zastosowanie odpowiednich środków;
c) w przypadku istniejących zakładów wprowadzenia dodatkowych środków technicznych, tak aby nie zwiększać ryzyka dla zdrowia ludzkiego i środowiska.

W dalszej kolejności zapisy Dyrektywy Seveso III nakładają na kraje UE obowiązek ustalenia odpowiednich procedur konsultacyjnych przez właściwe organy, w tym te do spraw planowania i zagospodarowania przestrzennego ułatwiających realizację wyznaczonych w art. 13 kierunków polityki planistycznej w kontekście funkcjonowania zakładów objętych zakresem dyrektywy [10, 12].

Zapisy Dyrektywy jednoznacznie wskazują, iż informacji wykorzystywanych na potrzeby planistyczne dotyczące ryzyka związanego z uruchomieniem zakładu o zwiększonym lub dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej dostarcza prowadzący zakład. Zapis wskazujący stronę zobowiązaną do opracowania i przedłożenia niezbędnych informacji pozwala dobierać odpowiednie procedury konsultacyjne pod najistotniejszym kątem, mianowicie podmiotu zobowiązanego do opracowania i dostarczenia informacji niezbędnych do planowania i zagospodarowania przestrzennego. Reasumując powyższe, prowadzący zakład zgodnie z zapisami Dyrektywy Seveso III jest zobowiązany dostarczyć właściwemu organowi realizującemu politykę planistyczną oraz właściwemu organowi architektonicznemu niezbędne informacje o zagrożeniach stwarzanych przez zakład.

– new developments, including transport routes, locations of public use and residential areas in the vicinity of establishments, where the siting or developments may be the source of or increase the risk or consequences of a major accident [5, 11].

The provisions specifying the scope of control were transposed in a virtually unchanged wording to the Act of 27 March 2013 on Land Use and Spatial Planning, which is the normative legal regulation for land use and spatial planning in Poland [1]. The State Fire Service and the Voivodeship Inspectorate of Environmental Protection were designated as the competent authorities to opine on the said scope when passing development strategy documents, local development plans and issuing zoning approvals.

Article 13 of the Seveso III Directive further indicates that in the planning process or in other relevant areas, the siting of Seveso establishments should be taken into account in the long term by:

a) maintaining appropriate safety distances between establishments covered by the Seveso Directive and residential areas, buildings and public areas, recreational areas, and, as far as possible, major transport routes;
b) protecting areas of particular natural sensitivity or interest in the vicinity of establishments through appropriate safety distances or other relevant measures;
c) in the case of existing establishments, taking additional technical measures so as not to increase the risks to human health and the environment.

The Seveso III Directive also require EU Member States to ensure that all competent authorities and planning authorities establish appropriate consultation procedures to facilitate the implementation of the planning policies set by Article 13 in the context of the operation of establishments covered by the Directives [10, 12].

The provisions of the Directive clearly indicate that the information necessary for planning purposes related to the risk connected with opening a new lower-tier or upper-tier establishment is submitted by the operator. The provision indicating the party obliged to prepare and submit the relevant information makes it possible to select appropriate consultation procedures according to the most important perspective, i.e. that of the entity obliged to prepare and provide information necessary for land use and spatial planning.

To summarise, pursuant to the Seveso III Directive, the operator of an establishment is obliged to provide the necessary information about the hazards caused by the establishment to the competent authority implementing the planning policy and the competent construction authority.

The State Fire Service and the Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection have the duty to supervise how safety distances and other site constraints are taken into account. As an analysis of existing legislation indicates, it is extremely difficult to ensure that issues connected with major accidents are taken into account in the spatial planning process. Local governments and construction authorities are responsible for taking these issues into consideration. Supervision and

 ISSN 1895-8443

Organy PSP oraz WIOŚ mają za zadanie nadzorować sposób uwzględniania kwestii bezpiecznych odległości i innych ograniczeń lokalizacyjnych. Niezmiernie trudne, jak można wywnioskować z obecnie obowiązującego stanu prawnego, jest zapewnienie uwzględniania zagadnień związanych z poważnymi awariami w procesie planowania przestrzennego. Za uwzględnianie tej problematyki odpowiedzialne są samorządy oraz organy architektoniczno-budowlane. Organy PSP i WIOŚ otrzymały funkcję kontrolno-ocenną.

Prawo Unii Europejskiej nałożyło na kraje członkowskie obowiązek brania pod uwagę zagrożeń stwarzanych przez zakłady zwiększonego i dużego ryzyka w procesie planistycznym oraz obowiązek uwzględniania oddziaływania otoczenia na zakład. Nakazano również kontrolować kwestię zarządzania zmianami w istniejących zakładach. Na prowadzącego zakład może zostać nałożony obowiązek zastosowania dodatkowych zabezpieczeń technicznych w celu minimalizacji niebezpieczeństw, na jakie narażeni są ludzie.

W procesie planowania przestrzennego aktami podlegającymi analizie i ocenie są: studium uwarunkowań i kierunków zagospodarowania przestrzennego, projekt miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego oraz projekt decyzji o warunkach zabudowy. W procesie konsultacji społecznych i administracyjnych ww. operatów i decyzji powinno uwzględniać się całokształt relacji przestrzennych, wynikających z ryzyka wystąpienia poważnych awarii przemysłowych.

Zgodnie z brzmieniem ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym właściwe organy PSP i WIOŚ opiniują projekty studiów oraz projekty miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego w zakresie:

- lokalizacji nowych zakładów o zwiększonym lub dużym ryzyku wystąpienia poważnych awarii,
- istotnych zmian, o których mowa w ustawie z Prawo ochrony środowiska, w istniejących zakładach o zwiększonym lub dużym ryzyku wystąpienia poważnych awarii,
- nowych inwestycji oraz rozmieszczenia obszarów przestrzeni publicznej i terenów zabudowy mieszkaniowej w sąsiedztwie zakładów o zwiększonym lub dużym ryzyku wystąpienia poważnych awarii, w przypadku, gdy ich **lokalizacja zwiększa ryzyko lub skutki** poważnych awarii [1].

Ustawodawca przewidział również tryb wyjątkowy możliwy do wykorzystania w przypadku braku miejscowego planu zagospodarowania przestrzennego – mianowicie kształtowanie przeznaczenia terenów poprzez decyzje o warunkach zabudowy (potocznie „wuzetki") [1]. W koncepcji rozwiązanie to miało mieć charakter wyjątkowy, stało się jednak furtką umożliwiającą przeznaczanie terenów pod określoną zabudowę z pominięciem bardziej sformalizowanych procedur przewidzianych dla miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego – bardziej czasochłonnych i droższych. Obowiązek uzgadniania przez organy PSP i WIOŚ decyzji o warunkach zabudowy oraz decyzji o lokalizacji inwestycji celu publicznego wynika z art. 53 ust. 4 pkt 12 oraz art. 64 ust. 1 ustawy o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym. Wskazać w tym miejscu należy, iż organami właściwymi do wydawania „wuzetek" są wójt, burmistrz i prezydent miasta. W obecnym stanie prawnym to te organy decydują, dla których obszarów należy podjąć proces

assessment, in turn, is within the remit of the State Fire Service and the Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection.

EU law requires Member States to take into account in their planning processes the risks created by lower- and upper-tier establishments and the assessment of the impact of the surrounding area on the establishment. They are also required to supervise the management of modifications in existing establishments. An operator may be obligated to apply additional technical measures to minimise the risks to human health and life.

In the spatial planning process, the documents subject to analysis and assessment are development strategy documents, draft local development plans and draft zoning approvals. The process of public and administrative consultations on surveys and decisions should take into account the entirety of spatial relations related to the risk of occurrence of major industrial accidents.

Pursuant to the Act on Spatial Planning and Management, the relevant units of the State Fire Service and Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection provide their opinions on draft development strategy documents and draft local development plans with regard to:

- siting new lower- or upper-tier establishments,
- significant modifications, as mentioned in the Environmental Protection Law, to existing lower- or upper-tier establishments,
- new developments and the siting of public areas and residential areas in the vicinity of lower- or upper-tier establishments, where the siting or developments may **increase the risk or consequences** of a major accident [1].

The legislator also provided for a special procedure which may be followed where no local development plan is in place, which involves defining land use by means of zoning approvals (often referred to as "ZA"). This solution was meant to be used for special cases, but it became a loophole allowing the approval of certain areas for specific developments while avoiding more formalised procedures such as those defined for local development plans, which are more time-consuming and cost-intensive. The obligation for the State Fire Service and Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection to consult on zoning approvals and decisions regarding the location of public-purpose projects is provided for in Article 53 (4) (12) and Article 64 (1) of the Act on Land Use and Spatial Planning. It should be noted here that the authorities competent to issue "ZAs" are commune heads and city mayors. Under existing legislation, it is these authorities that decide in which areas the consultation process for "ZAs" with the State Fire Service and the Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection should be initiated, and in which it is not necessary. This is due to the fact that information on the range of impact of major industrial accidents is not widely published – this data is in the possession of the State Fire Service and Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection.

All important information needed for the purposes of spatial planning must be included in the documentation required for upper-tier establishments. This data includes, in particular,

uzgadniania projektu „wuzetki" z organami PSP i WIOŚ, a dla których można go pominąć. Dzieje się tak, ponieważ w chwili obecnej informacje o zasięgach oddziaływania poważnych awarii przemysłowych nie podlegają szerokiej publikacji – są to dane będące w posiadaniu organów PSP i WIOŚ.

Wszystkie informacje przydatne w planowaniu przestrzennym znajdują się w dokumentacji przewidzianej dla zakładu o dużym ryzyku. Do tych danych w szczególności można zaliczyć opis zidentyfikowanych zagrożeń i przeprowadzonej analizy ryzyka wystąpienia poważnej awarii. Raport o bezpieczeństwie spełniający wymogi rozporządzenia ministra Rozwoju [8] zawiera zasięgi i skutki zidentyfikowanych poważnych awarii przemysłowych z uwzględnieniem terenów zamieszkałych, gęstości zaludnienia i rodzaju zabudowy, form ochrony przyrody, w tym dokumentację graficzną. Dodatkowo, w raporcie o bezpieczeństwie powinny znaleźć się informacje istotne dla celów planowania i zagospodarowania przestrzennego. Organy PSP i WIOŚ w posiadanym raporcie o bezpieczeństwie dysponują informacjami przydatnymi w procesie planowania przestrzennego w otoczeniu istniejących zakładów dużego ryzyka [8].

Biorąc pod uwagę doktrynę zapobiegania poważnym awariom przemysłowym [5] oraz dostępne informacje o rodzaju możliwych do wystąpienia zdarzeń awaryjnych, prawdopodobieństwie ich wystąpienia, zasięgu oddziaływania oraz prognozowanych skutkach, można określić dość jednoznacznie definicję bezpiecznej odległości – jest to odległość (dystans), która ma za zadanie złagodzić negatywne skutki poważnych awarii przemysłowych i zapobiec ich eskalacji lub powstaniu efektu domino. Odległość, rozumiana jako dystans między dwoma osobnymi obiektami w przestrzeni, jest najpewniejszą, a często również najtańszą metodą ograniczania skutków awarii w przypadku jej wystąpienia. Obecnie podejmowana jest próba sporządzenia aktu prawnego [22], w którym przedstawione zostaną ścieżka postępowania w przedmiocie ustalania bezpiecznej odległości oraz kryteria progowe oddziaływania poważnych awarii w zakresie promieniowania cieplnego, nadciśnienia i toksyczności W dokumencie określona zostanie graniczna wartość prawdopodobieństwa wystąpienia takich zdarzeń, warunkująca potrzebę uwzględnienia ich w procesie planowania i zagospodarowania przestrzennego.

Podsumowanie i wnioski

Na podstawie przeanalizowanych raportów o bezpieczeństwie oraz przeglądu aktów prawnych i dostępnych wytycznych można sformułować następujące wnioski:

1. Ilość danych w raportach o bezpieczeństwie zakładów o dużym ryzyku w zakresie analizy i oceny ryzyka wystąpienia poważnych awarii przemysłowych jest bardzo duża; dokumenty te charakteryzują się wysokim stopniem skomplikowania; w związku z tym istnieje potrzeba wprowadzenia systemu zarządzania, który pozwoli wykorzystać te dane w realizowanych procesach analizy i oceny projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego i projektów decyzji o warunkach zabudowy.

a description of the identified hazards and an analysis of the risk of major industrial accidents. A safety report fulfilling the requirements of the Regulation of the Minister of Development [8] lists the ranges and impacts of identified major industrial accidents, taking into account inhabited areas, population density, type of development, and forms of environmental protection, including visual documentation. Additionally, the safety report should contain information on the data provided for the purposes of land use and spatial planning. Safety reports provide the State Fire Service and Voivodeship Inspectorates of Environmental Protection with information useful in the spatial planning involving areas surrounding existing upper-tier establishments [8].

Taking into account the doctrine of preventing major industrial accidents [5] and the available information on the types of potential accidents, their probability, range of impact and projected consequences, a relatively clear definition of safety distance can be provided – it is the distance necessary to mitigate the adverse consequences of major industrial accidents and prevent their escalation or the domino effect. The distance, understood as the amount of space between two objects, is the most reliable and often the cheapest method of reducing the impact of accidents. Currently, attempts are being made to draft legislation [22] that will guide the determination of safety distance and indicate the threshold impact criteria for major industrial accidents in terms of thermal radiation, overpressure and toxicity, providing a cut-off value for the probability of such events that should be used for the purposes of land use and spatial planning.

Summary and conclusions

The following conclusions were drawn from the analysis of safety reports and review of existing legislation and available guidelines.

1. The data presented in the safety reports of upper-tier establishments with regard to the analysis and assessment of the risk of major industrial accidents is very extensive and highly complicated; therefore, there is a need for a management system that would ensure their use in the analysis and assessment of draft local development plans and draft zoning approvals.
2. There is no specific, centrally recommended risk assessment methodology, which is why individual risk

 ISSN 1895-8443

2. Brak określonej, zarekomendowanej na szczeblu centralnym metodyki dokonywania oceny ryzyka prowadzi do tego, że poszczególne oceny w raportach o bezpieczeństwie oparte są na odmiennych zasadach; w przypadku podobnych zakładów powoduje to powstawanie rozbieżności w zakresie rozpatrywanych reprezentatywnych zdarzeń awaryjnych, obliczania wartości prawdopodobieństwa i szacowania ryzyka.
3. Brak standaryzacji wymagań w zakresie prezentacji wyników analiz i ocen ryzyka, a w szczególności zasięgów oddziaływania promieniowania cieplnego, nadciśnienia i toksyczności powoduje pełną dowolność, uniemożliwiającą jednoznaczną interpretację tych wyników. Bez wykorzystania określonego oprogramowania nie ma również możliwości dokonywania dokładnych interpolacji danych. Oceniający otrzymuje zestawy różnych wartości progowych w różnych wielkościach fizycznych, co skutkuje stosowaniem zasady ograniczonego zaufania – pod uwagę brane są minimalne wartości oddziaływania, które zgodnie z dostępną wiedzą techniczną nie powinny odgrywać wiążącej roli w procesie opiniowania projektów miejscowych planów zagospodarowania przestrzennego i uzgadniania projektów decyzji o warunkach zabudowy.
4. Potencjał oddziaływania reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych jest bardzo duży. Dotyczy to zarówno terenu zakładu, jak i obszaru sąsiadującego z zakładem. Wyniki dokonanej w 2017 roku dla województwa mazowieckiego analizy zagrożeń wykazały, iż obszar objęty oddziaływaniem zakładów o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii poza swoim terenem jest równy ok. 2300 ha.
5. Brak krajowych wytycznych w zakresie ustalania bezpiecznej odległości na potrzeby planowania i zagospodarowania przestrzennego powoduje, że ww. obszar podlega określonym rodzajom zagospodarowania (zabudowy) z pominięciem lub niedostatecznym uwzględnieniem informacji o oddziaływaniu poważnych awarii przemysłowych.

Podsumowując dane z wykonanej w Komendzie Wojewódzkiej PSP w Warszawie w 2017 roku analizy reprezentatywnych scenariuszy awaryjnych zakładów o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej na przykładzie województwa mazowieckiego, stwierdzić należy, iż obowiązujący stan prawny na styku zapobiegania poważnym awariom przemysłowym a planowaniem i zagospodarowaniem przestrzennym jest wysoce niezadowalający., Skutkuje to brakiem ograniczeń co do rodzaju i formy zagospodarowania (zabudowy) terenu, będącego w zasięgu oddziaływania poważnej awarii przemysłowej lub, w drugą stronę, wprowadzaniem ograniczeń w sposób niewspółmierny do rodzaju i wartości oddziaływania możliwych do przewidzenia skutków. Przedstawiona łączna wielkość oddziaływania skutków analizowanych awarii poza terenami zakładów (23 km^2), stanowiąca równowartość powierzchni takich miast w Polsce jak Łowicz, Pułtusk, Radzymin czy Dąbrowa Białostocka [23], jednoznacznie wskazuje na pilną potrzebę stworzenia odpowiednich regulacji prawnych, a następnie ich wdrożenia i nadzorowania w celu osiągnięcia założonego celu. Zdaniem autorów, stworzenie krajowych wytycznych powinno być poprzedzone szczegółowymi analizami obecnego systemu planowania i zagospodarowania przestrzen-

assessments in safety reports follow different rules and principles, leading to differences with regard to the analysed representative accidents, probability calculations and risk assessments across similar establishments.
3. The lack of standardisation of requirements for presenting the results of analyses and risk assessments, particularly with regard to the range of impact of thermal radiation, overpressure and toxicity, leads to complete arbitrariness that prevents the clear interpretation of these results. Without using specific software, it is also impossible to perform accurate data interpolation. The person conducting a review receives sets of different threshold values in a variety of physical units which leads to a sceptical approach – minimum impact values are considered, as, according to the currently available technical knowledge, they should not play a binding role in the process of assessing draft local development plans and negotiating draft zoning approvals.
4. The impact potential of representative accident scenarios is very high. This concerns both the area of the establishment and its adjoining area. The results of the hazard analysis conducted in 2017 for the Mazowieckie Voivodeship demonstrated that the area covered by the impact of upper-tier establishments outside their area is approx. 2,300 ha.
5. Due to the lack of national guidelines for determining safety distances for the purposes of spatial planning and land use, this area is covered by specific types of land development (buildings), while disregarding or insufficiently highlighting information on the potential impact of major industrial accidents.

To summarise the data obtained in the analysis of representative accident scenarios for upper-tier establishments conducted in 2017 by the Mazovian Headquarters of the State Fire Service in Warsaw, drawing on the example of the Mazowieckie Voivodeship, it should be concluded that under existing legislation with regard to the prevention of major industrial accidents and land use and spatial planning highly unsatisfactory. As a result, no restrictions have been imposed on the type and form of land use (buildings) within the area of impact of potential major industrial accidents, or, conversely, excessive restrictions have been put into place for the type and extent of impact of potential foreseeable accidents. The presented total area of impact of the analysed accidents outside the areas of the establishments (23 km^2), which is equivalent to the areas of such Polish towns as Łowicz, Pułtusk, Radzymin or Dąbrowa Białostocka [23], clearly suggests that in order to achieve the set objective, there is an urgent need to draft, enact and monitor appropriate legislation. According to the authors, developing national guidelines should be preceded by a number of detailed analyses of the current land use and spatial planning system, the threshold values applied to impacts of potential major accidents and also the planned permits for specific spatial development types in the areas covered by the impact range of potential major industrial accidents. The range of impact of the planned legal regulations

nego, stosowanych wartości progowych oddziaływań poważnych awarii, a także planowanych dopuszczeń rodzajów zagospodarowania terenu na terenach objętych odziaływaniem poważnych awarii przemysłowych. Zasięg oddziaływania planowanych regulacji prawnych na procesy prawne dotyczące kształtowania ładu przestrzennego, budowlanych procesów inwestycyjnych i zapobiegania poważnym awariom przemysłowym wymusza konieczność uprzedniego, wnikliwego zbadania i rozstrzygnięcia kwestii spornych. W innym wypadku nastąpi dalsze rozregulowanie przedmiotowego obszaru, co odbije się negatywnie na systemie zapobiegania poważnym awariom przemysłowym w Polsce.

on the legal processes relating to spatial governance, construction investment and the prevention of major industrial accidents makes it necessary to perform a detailed analysis of and solve any contentious issues before their implementation. Failing that, a further deregulation will take place, additionally compromising the system of preventing major industrial accidents in Poland.

Publikacja została opracowana w ramach projektu nr DOB-BIO7/09/03/2015 finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju pod tytułem „Program do oceny ryzyka w obiektach przemysłowych, stwarzających zagrożenie poza swoim terenem".

The publication was prepared within the project No. DOB-BIO7/09/03/2015 financed by the National Centre for Research and Development under the title "Software for risk assessment in industrial establishments generating hazards beyond their area".

Literatura/Literature

[1] Ustawa z dnia 27 marca 2003 r. o planowaniu i zagospodarowaniu przestrzennym (t.j. Dz. U. z 2018 r. poz. 1945).
[2] Ustawa z dnia 27 kwietnia 2001 r. Prawo ochrony środowiska (t.j. Dz. U. z 2018 r. poz. 799 ze zm.).
[3] Dyrektywa 82/501/EWG z dnia 24 czerwca 1982 roku w sprawie niebezpieczeństwa poważnych awarii, powodowanych przez określone działania przemysłowe.
[4] Dyrektywa Rady 96/82/WE z 9 grudnia 1996 r. w sprawie kontroli niebezpieczeństwa poważnych awarii związanych z substancjami niebezpiecznymi.
[5] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/18/UE z 4 lipca 2012 r. w sprawie kontroli zagrożeń poważnymi awariami związanymi z substancjami niebezpiecznymi.
[6] *Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals* (GHS), United Nations Bookshop GA-1B-103, New York, USA.
[7] Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 z dnia 16 grudnia 2008 r. w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniające i uchylające Dyrektywy 67/548/EWG] i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 (Dz. Urz. UE L 353 z 31.12.2008).
[8] Rozporządzenie Ministra Rozwoju z dnia 23 lutego 2016 r. w sprawie raportu o bezpieczeństwie zakładu o dużym ryzyku (Dz. U. z 2016 r. poz. 287).
[9] Rocznik Statystyczny Województwa Mazowieckiego, GUS, Warszawa 2016.
[10] Christou M. D., Amendola A., Smeder M., *The control of major accident hazards: The land-use planning issue*, "Journal of Hazardous Materials", 1999, 65(1–2), , 151–178.
[11] Cozzani V., Bandini R., Basta C., Christou M.D., *Application of land-use planning criteria for the control of major accident hazards: A case-study*, "Journal of Hazardous Materials", 2006, A136, , 170–180.
[12] Christou M., Gyenes Z., Struckle M., *Risk assessment in support to land use planning in Europe: towards more consistent decisions?*, "Journal of Loss Prevention in the Process Industries", 2011, 24.(3), 219–226.
[13] Lees F.P, *Loss Prevention in Process Industries*, Butterworths, 1980.
[14] Markowski A.S. (red.), *Zapobieganie stratom w przemyśle. Część III – Zarządzanie bezpieczeństwem procesowym*, praca zbiorowa, Politechnika Łódzka, Łódź 2000.
[15] Lesiak P., Porowski R., *Ocena skutków awarii przemysłowej w instalacjach procesowych w tym efektu domino* – część I, BiTP Vol. 27 Issue 3, 2012, pp. 13–25.
[16] Metodologia ustalania bezpiecznych lokalizacji zakładów mogących powodować poważne awarie, GIOŚ, Warszawa 2010.
[17] Wiśniewski W., *Roczny plan kontroli w zakresie przestrzegania przepisów dotyczących przeciwdziałania awarii przemysłowej na terenie województwa mazowieckiego*, Wydział Kontrolno-Rozpoznawczy Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie, 15 października 2015 r.
[18] Wiśniewski W., *Analiza Zagrożeń Województwa Mazowieckiego*, Wydział Kontrolno-Rozpoznawczy Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie, luty 2017.
[19] Wiśniewski W., *Analiza zagrożeń stwarzanych przez zakłady o dużym ryzyku wystąpienia poważnej awarii przemysłowej poza swoim terenem – województwo mazowieckie*, Wydział Kontrolno-Rozpoznawczy Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie, czerwiec 2016.
[20] Zagrożenia poważnymi awariami przemysłowymi w Polsce, CIOP, Warszawa 2015, [dok. elektr.] https://www.ciop.pl [dostęp: marzec 2016].
[21] Sobieszek G., *Planowanie i zagospodarowanie przestrzenne na tle problematyki sposobu ustalania bezpiecznej odległości przy lokalizacji zakładów stwarzających zagrożenie wystąpienia poważnej awarii przemysłowej*, praca magisterska, SGSP, Warszawa 2016.
[22] Projekt rozporządzenia Ministra Środowiska z dnia 27 marca 2015 r. w sprawie sposobu ustalania bezpiecznej odległości przy lokalizacji zakładów stwarzających zagrożenie wystąpienia poważnej awarii przemysłowej.
[23] Powierzchnia i ludność w przekroju terytorialnym w 2016 r., GUS, Warszawa 2016.

MGR BARTŁOMIEJ POŁEĆ – absolwent Wydziału Bezpieczeństwa Narodowego Akademii Obrony Narodowej w Warszawie (obecnie Akademia Sztuki Wojennej). Pracownik Jednostki Certyfikującej Usługi CNBOP-PIB. Współtwórca projektów badawczo-rozwojowych realizowanych przez CNBOP-PIB we współpracy z innymi instytucjami. Pełni funkcję zastępcy kierownika w projekcie naukowo-badawczym pn. „Program do oceny ryzyka w obiektach przemysłowych, stwarzających zagrożenie poza swoim terenem".

ST. KPT. MGR INŻ. WOJCIECH WIŚNIEWSKI – kierownik sekcji w Wydziale Kontrolno-Rozpoznawczym Komendy Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie. Absolwent dziennych mundurowych studiów inżynierskich na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej oraz studiów podyplomowych „Bezpieczeństwo procesów przemysłowych" na Politechnice Łódzkiej. Brał czynny udział w procesie implementowania dyrektywy SEVESO III do prawodawstwa krajowego. Prowadzi działania kontrolne w zakładach sevesowskich. Jest autorem wielu analiz i wystąpień w dziedzinie bezpieczeństwa procesowego oraz oceny ryzyka. Kieruje projektem naukowo-badawczym pn. „Program do oceny ryzyka w obiektach przemysłowych, stwarzających zagrożenie poza swoim terenem".

MŁ. KPT. MGR INŻ. GRZEGORZ SOBIESZEK – absolwent Dziennego Studium Aspirantów PSP w Częstochowie, Wojskowej Akademii Technicznej w Warszawie (kierunek chemia) oraz studiów magisterskich na Wydziale Inżynierii Bezpieczeństwa Pożarowego Szkoły Głównej Służby Pożarniczej. Ukończył także studia podyplomowe dla strażaków ubiegających się o zajmowanie stanowisk oficerskich związanych z kierowaniem działaniami ratowniczymi w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Od 2013 roku pełni służbę w Komendzie Wojewódzkiej Państwowej Straży Pożarnej w Warszawie w Wydziale Kontrolno-Rozpoznawczym na stanowisku specjalisty.

BARTŁOMIEJ POŁEĆ, M.A. – graduated from the Faculty of National Security of the National Defense University in Warsaw (currently War Studies University). Employed at the Services Certification Department of the Scientific and Research Centre for Fire Protection – National Research Institute (CNBOP-PIB). He has co-created a number of research and development projects implemented by CNBOP-PIB in cooperation with other institutions. He is also a deputy manager in a scientific research project entitled „Software for risk assessment in industrial establishments generating hazards beyond their area".

ST. KPT. WOJCIECH WIŚNIEWSKI, M.ENG. – Division Manager at the Inspection and Evaluation Department of the Mazovian Headquarters of the State Fire Service in Warsaw. He graduated from full-time engineering studies for uniformed services at the Fire Safety Engineering Faculty of the Main School of Fire Service and completed postgraduate studies in "Industrial process safety" at the Lodz University of Technology. He actively participated in the implementation process of the SEVESO III Directive into national legislation. He conducts inspections in Seveso establishments. He has authored numerous analyses and lectures on the subjects of process safety and risk assessment. He is also a manager in a scientific research project entitled „Software for risk assessment in industrial establishments generating hazards beyond their area".

MŁ. KPT. GRZEGORZ SOBIESZEK, M.ENG. – completed the Fire Service College of the State Fire Service in Częstochowa. He graduated in Chemistry from the Faculty of Advanced Technologies and Chemistry of the Military University of Technology in Warsaw. He obtained his MSc degree at the Fire Safety Engineering Faculty of the Main School of Fire Service. He completed postgraduate studies for firefighters aspiring for officer positions involving the management of rescue operations at the Main School of Fire Service. Since 2013 he has been in active service at the Inspection and Evaluation Department of the Mazovian Headquarters of the State Fire Service in Warsaw. He is currently employed as a specialist.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

bryg dr inż. Robert Piec[a)]*, st. kpt. dr Barbara Szykuła-Piec[a)]

[a)]*Szkoła Główna Służby Pożarniczej / Main School of Fire Service*
**Autor korespondencyjny/Corresponding author: rpiec@sgsp.edu.pl*

Świadomość wpływu stresu na wypadki w akcjach ratowniczych wśród strażaków Państwowej Straży Pożarnej

Awareness of the Influence of Stress Exposure on Accidents During Rescue Operations Among State Fire Service Firefighters

Осведомленность среди пожарных Государственной пожарной службы о влиянии стресса на несчастные случаи в спасательных операциях

ABSTRAKT

Cel: Celem wykonanych badań była próba oceny świadomości strażaków Państwowej Straży Pożarnej na temat tego, jak stres wpływa na możliwość wystąpienia wypadków przy pracy w akcjach ratowniczych. Poddano również weryfikacji tezę, że wiek i doświadczenie strażaków wpływają na ocenę sytuacji zagrażającej zdrowiu ratownika w prowadzonych działaniach ratowniczych.
Metody: W artykule zastosowano analizę i syntezę materiałów źródłowych związanych z charakterystyką środowiska pracy strażaka, wypadkowością w Państwowej Straży Pożarnej oraz wnioskowanie statystyczne z wyników przeprowadzonych badań ankietowych.
Wyniki: Analiza literatury wskazuje na niepodważalny wpływ stresu na zachowanie strażaka. Zawód wykonywany przez funkcjonariusza PSP uznawany jest za jedną z niebezpieczniejszych i najbardziej stresujących profesji. To właśnie stres definiowany jest w teorii jako najczęstsza przyczyna wypadków wśród strażaków w akcjach ratowniczych. Wyniki z przeprowadzonych badań ukazują, że spośród czynników zagrażających zdrowiu strażaków związanych z charakterem pracy zależnych od specyfiki służby oraz od sposobu wykonywania pracy, na pierwszym miejscu respondenci wskazują na narażenie na stres. Istotność związku pomiędzy doświadczeniem ankietowanych a ich wskazaniami zbadano z wykorzystaniem testów chi-kwadrat. Wyniki obliczeń nie pozwalają na potwierdzenie związku pomiędzy doświadczeniem respondentów a ich oceną istotności zagrożeń.
Wnioski: Stres jest niezwykle groźnym czynnikiem zagrażającym zdrowiu strażaków podczas akcji ratowniczych. Bardzo istotnie wpływa on na ryzyko zawodowe strażaków. Wyniki badań pozwalają stwierdzić, że już od początku służby strażacy prawidłowo postrzegają zagrożenia związane z charakterem pracy i wskazują stres jako na główny czynnik wpływający na wypadki przy pracy w akcjach ratowniczych.
Słowa kluczowe: wypadki w pracy, stres, działania ratownicze
Typ artykułu: oryginalny artykuł naukowy

Przyjęty: 07.03.2018; Zrecenzowany: 02.10.2018; Zatwierdzony: 05.11.2018;
Procentowy wkład merytoryczny: Autorzy wnieśli równy wkład merytoryczny w opracowanie artykułu;
Identyfikatory ORCID autorów: R. Piec – 0000-0002-5234-5639; B. Szykuła-Piec – 0000-0002-4533-232X;
Proszę cytować: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 170–182, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.12;
Artykuł udostępniany na licencji CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

ABSTRACT

Aim: The aim of this study was to assess awareness among State Fire Service (PSP) firefighters of the impact of stress on accidents at work in rescue operations. The thesis that the age and experience of firefighters affect the assessment of the situation that puts at risk the health of the rescuer in rescue operations was also verified.
Methods: The article uses the analysis and synthesis of source materials related to the firefighter's work environment, accidents in the State Fire Service and statistical inference from the results of the survey.
The analysis of the literature indicates a significant impact of stress on firefighter behaviour. The job of a PSP firefighter is considered one of the most dangerous and stressful professions. One of the most important causes of accidents among firefighters in rescue operations is stress. The results of the survey demonstrate that among the factors putting firefighters' health at risk which are related to the nature of the work depending on the specificity of the service and the way in which the work is performed, the respondents point to exposure to stress. Further, they indicate physical exertion, work at height, the need for full psychomotor mobilisation and variable daily rhythm of work and other factors. The significance of the relationship between the experience of the respondents and their responses was examined by performing chi-square tests. The results of the calculations do not allow the rejection of the null hypothesis about the lack of connection between the respondents' experience and their assessment of the indicated threats.

Conclusions: Stress is an extremely dangerous factor threatening the health of firefighters during rescue operations, which significantly affects the occupational risk of firefighters. The survey results allow to state that from the very beginning of the service, firefighters correctly perceive threats related to the nature of their work and indicate stress as the main factor leading to accidents at work in rescue operations.
Keywords: accidents at work, stress, rescue operations
Type of article: original scientific article

Received: 07.03.2018; Reviewed: 02.10.2018; Accepted: 05.11.2018;
The authors contributed equally to this article;
Authors' ORCID IDs: R. Piec – 0000-0002-5234-5639; B. Szykuła-Piec – 0000-0002-4533-232X;
Please cite as: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 170–182, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.12;
This is an open access article under the CC BY-SA 4.0 license (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

АННОТАЦИЯ

Цель: целью проведенных исследований является попытка оценки осведомленности пожарных Государственной противопожарной службы о том, как стресс влияет на возможность возникновения несчастных случаев на рабочем месте во время спасательных операций. Также был проверен тезис о том, что возраст и опыт пожарных влияют на оценку ситуации, которая угрожает здоровью спасателя в ходе спасательных операций.
Методы: в статье используется анализ и синтез исходных материалов, связанных с рабочей средой пожарного и несчастными случаями в Государственной пожарной службе и статистический вывод из результатов опроса.
Результаты: анализ литературы указывает на неопровержимое влияние стресса на поведение пожарных. Профессия, выполняемая офицером PSP, считается одной из самых опасных и напряженных профессий. Именно стресс теоретически определяется как наиболее распространенная причина несчастных случаев среди пожарных во время спасательных операций. Результаты проведенных исследований показывают, что среди факторов, которые угрожают здоровью пожарных, связанных с характером работы в зависимости от специфики службы и способа ее выполнения, респонденты указывают прежде всего на стресс. Значение взаимосвязи между опытом респондентов и их показаниями изучалось с использованием хи-квадратных тестов. Результаты расчетов не позволяют подтвердить взаимосвязь между опытом респондентов и их оценкой серьезности угроз.
Выводы: Стресс является чрезвычайно опасным фактором, угрожающим здоровью пожарных во время спасательных операций. Он существенно влияет на профессиональный риск пожарных. Результаты исследования позволяют утверждать, что с самого начала службы пожарные должным образом воспринимают угрозы, связанные с характером работы, и указывают на стресс как на основной фактор, влияющий на несчастные случаи на работе во время спасательных операций.
Ключевые слова: несчастные случаи на рабочем месте, стресс, спасательные операции
Тип статьи: оригинальная научная статья

Принята: 07.03.2018; Рецензирована: 02.10.2018; Одобрена: 05.11.2018;
Авторы внесли одинаковый вклад в создание этой статьи;
Идентификаторы ORCID авторов: R. Piec – 0000-0002-5234-5639; B. Szykuła-Piec – 0000-0002-4533-232X;
Просим ссылаться на статью следующим образом: BiTP Vol. 51 Issue 3, 2018, pp. 170–182, doi: 10.12845/bitp.51.3.2018.12;
Настоящая статья находится в открытом доступе и распространяется в соответствии с лицензией CC BY-SA 4.0 (https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).

Wprowadzenie

Strażak-ratownik, funkcjonariusz Państwowej Straży Pożarnej (PSP), pełni służbę, która wymaga posiadania szeregu wyjątkowych predyspozycji. Profesjonalizm, wiedza, sprawność fizyczna, silna psychika – są to cechy determinujące skuteczne działania ratownicze. Udział w akcjach ratowniczych stwarza niebezpieczeństwo bezpośrednie dla samych ratowników. Zagrożenia, które wiążą się z wykonywaniem pracy strażaka wynikają zazwyczaj z charakterystyki działań ratowniczych. Strażacy pracują w zmiennych warunkach pogodowych, niejednokrotnie przy zagrożeniu związanym ze zniszczonymi konstrukcjami, odpadającymi elementami obiektów budowlanych, toksycznymi pyłami i gazami, przy skrajnie zmiennych temperaturach itd. Narażeni są oni na urazy związane m.in. z wypadkami komunikacyjnymi, katastrofami naturalnymi, technicznymi czy powodziami. Wykonywane czynności podczas działań ratowniczych wiążą się

Background

Performing the service of a firefighter and rescuer, officer of the State Fire Service (PSP), requires an extraordinary set of skills. Professionalism, knowledge, physical fitness, mental strength – these are the factors determining effective rescue operations. Taking part in rescue operations involves a direct threat to the rescuers themselves. The threats connected with performing the profession of a firefighter are usually related to the specific conditions of rescue operations. Firefighters work in changing weather conditions and are often faced with threats coming from damaged structures, detaching building elements, toxic dust and gases, rapid shifts in temperature, etc. They are at risk of injuries connected with transport accidents, natural and technical disasters and floods. The actions undertaken during rescue operations are connected with significant physical exertion, which can lead to exhaustion and

z dużym wysiłkiem fizycznym, który może doprowadzić do wyczerpania organizmu oraz urazów z przeciążenia. Praca w systemie zmianowym, w oczekiwaniu na alarm, może stanowić bardzo poważne źródło stresu. Zdarzenia, w których strażak ma kontakt z osobami rannymi, ofiarami śmiertelnymi i ich rodzinami może destrukcyjnie wpływać na zdrowie psychofizyczne ratowników.

Celem przedstawionych w artykule badań jest próba oceny świadomości strażaków Państwowej Straży Pożarnej o wpływie stresu na wypadki przy pracy w akcjach ratowniczych. Poddano również weryfikacji tezę, że wiek i doświadczenie strażaków wpływają na ocenę sytuacji zagrażającej zdrowiu ratownika w prowadzonych działaniach ratowniczych.

W badaniach wykorzystano analizę i syntezę materiałów źródłowych związanych z charakterystyką środowiska pracy strażaka oraz wypadkowością w Państwowej Straży Pożarnej. Wyniki badań literaturowych umożliwiły przygotowanie kwestionariusza za pomocą którego w 2016 roku w Szkole Głównej Służby Pożarniczej zostały przeprowadzone badania ankietowe wśród strażaków Państwowej Straży Pożarnej metodą CAWI (Computer Assisted Web Interviews). Miały one na celu identyfikację i hierarchizację, postrzeganych przez ratowników zagrożeń. Badaniem objęto pracowników i funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej z komend powiatowych. Do analiz zostało dopuszczonych 538 wypełnionych w sposób prawidłowy formularzy.

W celu weryfikacji tezy, że wiek i doświadczenie strażaków wpływa na ocenę sytuacji zagrażającej zdrowiu ratownika w prowadzonych działaniach zastosowano test nieparametryczny chi kwadrat.

strain injuries. Working in shifts and waiting for the alarm can be a very strong source of stress. Situations in which firefighters encounter injured people or dead bodies and meet their families may have a destructive impact on the psychophysical health of the rescuers.

The objective of the study presented in this article is to assess awareness among State Fire Service firefighters of the impact of stress on accidents at work during rescue operations. The thesis that the age and experience of firefighters affect their assessment of health-threatening situations during rescue operations was also verified.

The study involved an analysis and synthesis of source materials connected with the characteristics of firefighters' work environment and accident rate in the State Fire Service. The results of literature studies facilitated the preparation of a questionnaire, which was used in 2016 at the Main School of Fire Service to conduct a survey among State Fire Service firefighters using the CAWI (Computer Assisted Web Interviews) method. It was aimed at the identification and hierarchisation of the threats perceived by rescuers. The survey covered the employees and officers of the State Fire Service from district fire departments. The analysis involved 538 correctly filled-in questionnaires.

The nonparametric Chi-square test was used to verify the thesis that the age and experience of firefighters affect their assessment of health-threatening situations during rescue operations.

Wypadki w Państwowej Straży Pożarnej

Liczba wypadków wśród strażaków i pracowników PSP w ostatnich latach nieznacznie rośnie w porównaniu z latami ubiegłymi. W 2016 roku obrażeniom uległo o 489 osób więcej niż 2007 roku, co można na podstawie danych przedstawionych w tabeli 1.

Accidents in the State Fire Service

The number of accidents among PSP firefighters and employees has slightly increased in recent years in comparison to previous data. In 2016, 489 more people were injured than in 2007, which is demonstrated by the data presented in Table 1.

Tabela 1. Liczba wypadków ogółem (indywidualnych i zbiorowych) w czasie służby i pracy w PSP w latach 2007–2016
Table 1. Total number of (individual and group) accidents during service and work in the PSP in the years 2007–2016

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ogółem/ Total	1389	1349	1310	1260	1499	1589	1511	1670	1825	1878
Indywidualnych/ Individual	1376	1342	1299	1254	1488	1577	1502	1660	1805	1867
Zbiorowych/Group	13	7	11	6	11	12	9	10	20	11

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Biuletynów rocznych PSP.
Source: Own study based on the PSP's annual bulletins.

Liczba wypadków zbiorowych w analizowanych latach podlega niewielkim zmianom, ale nie przekracza 20 wypadków w roku, co stanowi średnio prawie 1% wypadków ogółem. Analiza ciężkości wypadków pokazuje, że wzrasta liczba wypadków lekkich. Wypadki śmiertelne występują sporadycznie, wypadki ciężkie występują średnio niespełna 3 razy w roku. W tabeli 2 przedstawiono się rozkład wypadków ogółem, lekkich, ciężkich i śmiertelnych w latach 2007–2016.

The number of group accidents in the analysed years is subject to small changes, but it does not exceed 20 accidents per year, which is nearly 1% of all accidents on average. An accident severity analysis shows that the number of light accidents is increasing. Fatal accidents occur sporadically, while severe accidents on average 3 times a year. Table 2 presents the overall distribution of accidents (light, severe and fatal) in the years 2007–2016.

Tabela 2. Liczba wypadków ogółem (lekkich, ciężkich i śmiertelnych) w latach 2007–2016
Table 2. The total number of (light, severe and fatal) accidents in the years 2007–2016

Wypadki/ Accidents	Liczba poszkodowanych w latach/Number of cases by year									
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Ogółem/Total	1409	1375	1330	1276	1516	1605	1533	1690	1855	1899
Lekkie/Light	1408	1371	1328	1274	1508	1601	1530	1686	1851	1896
Ciężkie/ Severe	1	4	2	2	6	4	1	3	3	2
Śmiertelne/ Fatal	0	0	0	0	2	0	2	1	1	1

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Biuletynów rocznych PSP
Source: Own study based on the PSP's annual bulletins.

W poszczególnych województwach liczba wypadków jest zróżnicowana. Spowodowane jest to zarówno względami geograficznymi, jak i różną liczbą osób służących i pracujących w różnych województwach. W poniższej tabeli widać większą liczbę wypadków w dużych (powierzchnia), uprzemysłowionych (liczba przedsiębiorstw) i ludnych (liczba zamieszkałych osób) województwach, takich jak mazowieckie, śląskie, dolnośląskie czy pomorskie.

The number of accidents varies by voivodeship. This is caused by both the geographical location and the different number of people serving and working in various voivodeships. The table below shows the larger number of accidents in large (area), industrialised (number of companies) and highly populated (population) voivodeships, such as Mazowieckie, Śląskie, Dolnośląskie and Pomorskie.

Tabela 3. Liczba wypadków w województwach w latach 2011–2016
Table 3. The number of accidents in voivodships in 2011–2016

Województwo/Voivodeship	2011	2012	2013	2014	2015	2016
dolnośląskie	135	139	129	137	168	170
kujawsko-pomorskie	84	102	109	109	117	139
lubelskie	57	60	51	76	72	89
lubuskie	52	62	46	42	52	52
łódzkie	105	123	120	154	172	167
małopolskie	103	103	66	84	98	76
mazowieckie	154	171	188	216	204	276
opolskie	53	70	67	72	73	88
Podkarpackie	88	84	98	73	100	99
podlaskie	36	39	48	69	60	45
pomorskie	108	110	91	123	119	125
śląskie	128	135	146	145	165	148
świętokrzyskie	58	30	40	44	54	57
warmińsko-mazurskie	69	86	57	84	97	77
wielkopolskie	99	96	93	84	92	101
zachodnio-pomorskie	77	94	77	94	111	106
jednostki centralne i szkoły	93	85	85	64	71	170

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Biuletynów rocznych PSP.
Source: Own study based on the PSP's annual bulletins.

Strukturę zatrudnienia odzwierciedlają również statystyki dotyczące liczby wypadków wśród funkcjonariuszy PSP i pracowników cywilnych (tabela 4).

The employment structure is also reflected in the statistics on the number of accidents among PSP officers and civilian employees (Table 4).

Tabela 4. Liczba wypadków wśród funkcjonariuszy PSP oraz wśród pracowników cywilnych w latach 2011–2016
Table 4. Number of accidents among PSP officers and among civilian employees in 2011–2016

	2011	2012	2013	2014	2015	2016
funkcjonariusze PSP/ PSP officers	1503	1582	1504	1673	1802	1859
pracownicy cywilni/ civilian employees	13	23	29	17	23	19

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Biuletynów rocznych PSP.
Source: Own study based on PSP's annual bulletins.

Dużo częściej zdarzają się wypadki wśród funkcjonariuszy PSP niż wśród pracowników cywilnych. Jednak liczba etatów w jednostkach organizacyjnych PSP również nie jest proporcjonalna.

Accidents are much more common among PSP officers than among civilian employees. However, the number of positions at the PSP's organisational units is not proportional.

Tabela 5. Okoliczności wypadków w PSP w latach 2007–2016
Table 5. Circumstances of accidents at the PSP in 2007–2016

Rok/Year	Wypadki zaistniałe podczas:/Accidents during:										
	alarmu/alarm	akcji ratowniczej/rescue operation	jazdy do i od akcji ratowniczej/ en route to and from the rescue operation	Jazdy do i z manewrów, zawodów/ en route to and from manoeuvres, contests	szkolenia i ćwiczeń/training and exercises	konserwacji, napraw sprzętu i urządzeń/maintenance, repairs equipment and devices	zajęć sportowych/sports activities	innej służby/other service		drogi do służby i ze służby/ en route to and from service	podróży służbowej/business travel
								w strażnicy/at the station	poza strażnicą/outside the station		
2007	33	315	17		156	70	520	184	45	42	7
2008	29	313	28		118	49	527	161	59	44	21
2009	32	302	37		99	64	551	146	27	40	12
2010	32	305	22		99	74	485	161	27	62	5
2011	35	284	70		114	70	609	225	46	43	16
2012	37	294	32		117	78	720	183	30	74	8
2013	60	258	15	4	119	69	670	194	38	64	21
2014	52	335	21	2	127	72	719	219	38	60	25
2015	61	399	40	13	171	110	703	223	39	51	15
2016	49	405	35	2	183	106	771	218	35	67	7

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Biuletynów rocznych PSP.
Source: Own study based on the PSP's annual bulletins.

Analiza zebranych danych wskazuje jednoznacznie, że do wypadków przy pracy najczęściej dochodzi w związku z zajęciami sportowymi. To średnio ponad 620 wypadków rocznie w latach 2007–2016. Wypadków związanych z akcją ratowniczą jest średnio rocznie 321. Następną liczną grupą są wypadki powstałe w strażnicy przy pełnieniu innej służby oraz wypadki zaistniałe w związku ze szkoleniami i ćwiczeniami. Rozkład liczby wypadków w przedstawionej powyżej tabeli odzwierciedla specyfikę służby i pracy oraz zagrożenia charakterystyczne dla pracy w PSP. Znaczna część działań, w szczególności działań ratowniczych, związanych jest z wysiłkiem fizycznym – niezbędne zatem jest utrzymywanie sprawności fizycznej poprzez

An analysis of the collected data clearly indicates that most accidents at work occur in connection with sports activities. This was responsible for over 620 accidents per year on average in 2007–2016. The average annual number of accidents caused by rescue operations is 321. Another large group comprises accidents occurring at the station during other kinds of service and accidents occurring due to training sessions and exercises. The distribution of the number of accidents in the table presented above reflects the specific nature of the service and work and the hazards characteristic of working in the PSP. A significant proportion of operations, especially rescue operations, involve physical exertion, which requires maintaining physical fitness

ćwiczenia i zajęcia sportowe. Liczba wypadków przy pracy ratowników w akcjach ratowniczych, a w zasadzie ich minimalizacja, jest niezwykle ważna z jednego podstawowego powodu: ranny ratownik w akcji ratowniczej nie może pomóc osobom poszkodowanym w pożarze lub w innym miejscowym zagrożeniu.

Liczba wypadków w akcjach ratowniczych zmniejsza się – z 315 w roku 2007 do 258 w roku 2013, a następnie rośnie do 405 wypadków w roku 2016 (rycina 1).

by exercising and participating in sports activities. It is extremely important to minimise the number of accidents at work suffered by rescuers during rescue operations for one fundamental reason – an injured rescuer in a rescue operation cannot help those who have been injured in a fire or another local threat.

The number of accidents in rescue operations decreased from 315 in 2007 to 258 in 2013, then, in 2016, it increased again to 405 accidents (Fig. 1).

Rycina 1. Wypadki w akcji ratowniczej w latach 2007–2016
Figure 1. Accidents in the rescue operation in the years 2007–2016
Źródło: Opracowanie własne na podstawie Biuletynów rocznych PSP.
Source: Own study based on the PSP's annual bulletins.

Wypadki w akcji ratowniczej stanowią drugą co do liczebności grupę wypadków przy pracy w PSP. Jak już zostało powiedziane, działaniom tym towarzyszy stres, który jest swoistą reakcją organizmu na nienormalną, trudną, obciążającą sytuację. Chcąc zapobiegać wypadkom, warto przeprowadzić bardziej szczegółową analizę uwzględniającą specyfikę służby i pracy w Państwowej Straży Pożarnej przy równoczesnym pochyleniu się nad minimalizacją negatywnych skutków działania stresorów.

Accidents during rescue operations are the second most frequent group of accidents at work in the PSP. As already mentioned, such operations are usually accompanied by stress, which is a specific bodily reaction to an abnormal, difficult and tense situation. To prevent accidents, it is worth performing a more detailed analysis taking into account the specific nature of service and work in the State Fire Service, while trying to minimise the negative impact of stressors.

Stres jako przyczyna wypadków przy pracy strażaków

Badania literaturowe wskazują na stres jako jedną z istotniejszych przyczyn wypadków wśród strażaków w akcjach ratowniczych. Praca strażaka zaliczana jest do najbardziej niebezpiecznych i stresujących zawodów w USA [5]. Narażenie na widok trudnych i często przerażających scen są dobrze udokumentowaną i nieuniknioną częścią pracy strażaka [6]. Zawód ten wiąże się ze stycznością z rozpaczą i bólem innych osób oraz przekazywaniem tragicznym informacji rodzinom poszkodowanych [7]. W opracowaniu *Narażenie zawodowe funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej* Irena Korenkiewicz wskazuje na dwa podstawowe czynniki zagrażające strażakom [8]:

Stress as a cause of firefighters' accidents at work

Literature studies demonstrate that stress is one of the most significant causes of accidents among firefighters during rescue operations. In the USA, the job of a firefighter is considered one of the most dangerous and stressful occupations [5]. Exposure to difficult and often terrifying scenes is a well-documented and unavoidable part of every firefighter's work [6]. Firefighters witness the despair and pain of other people and have to communicate tragic news to the families of victims [7]. In the study *Narażenie zawodowe funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej* (Occupational risk exposure among State Fire Service officers), Irena Korenkiewicz indicates two primary groups of factors which are dangerous to firefighters [8]:

– czynniki środowiska pracy,
– czynniki związane z charakterem pracy.

Za czynniki środowiska pracy najmocniej obciążające zdrowie strażaków uznano:

– oddziaływanie mikroklimatu,
– zanieczyszczenia powietrza (gazy, dymy i pyły),
– hałas.

Jako czynniki związane z charakterem pracy zależne od specyfiki służby oraz od sposobu wykonywania pracy wskazano:

– obciążenie wysiłkiem fizycznym,
– narażenie na stres,
– zmienny rytm dobowy pracy,
– konieczność wykazania pełnej sprawności psychoruchowej,
– pracę na wysokości.

Funkcjonariusze PSP są nieustannie narażeni na działanie stresorów. Wymuszają one uruchomienie posiadanych zasobów koniecznych do poradzenia sobie z nimi. Stres towarzyszący zarówno bezpośrednim działaniom ratowniczym na miejscu zdarzenia, jak i służbie na stanowiskach kierowania, podczas których popełnienie błędu może kosztować zdrowie, a nawet życie ludzkie, jest definiowany jako stan obciążenia systemu regulacji psychofizycznej. Powstaje on w sytuacji zagrożenia, utrudnienia lub niemożności realizacji ważnych dla jednostki celów, zadań, wartości [9]. Stan zagrożenia w pracy strażaka działającego w akcji ratowniczej jest elementem występującym powszechnie. Strażak ma za zadanie wejść tam, skąd inni uciekają i pomagać potrzebującym. Są to sytuacje, które występują cyklicznie, podczas działań ratowniczych wręcz występuje stały stan wzmożonej uwagi i napięcia. Wzorzec reakcji organizmu na stres zdefiniował w swoich pracach H. Saley, nazywając go ogólnym zespołem adaptacyjnym. Przebiega on w trzech fazach:

– reakcja alarmowa – organizm mobilizuje się, uruchamiane są zasoby niezbędne, aby poradzić sobie z zagrożeniem, wydziela się zwiększona ilość adrenaliny,
– obronna – organizm skupia się na zwalczaniu zagrożenia, utrzymuje w równowadze układ krążenia i przemianę materii, zasoby energetyczne przenoszone są z normalnych funkcji na obronne,
– wyczerpania – organizm w następstwie długotrwałego oddziaływania stresora jest pobudzony, zasoby są na wyczerpaniu, dochodzi do rozregulowania funkcji fizjologicznych i spadku zdolności obronnych [10].

Stres wpływa na cały organizm. Wyniki badań wskazują, że stres wywołuje 14 000 zmian fizykochemicznych w organizmie [11]. Konsekwencją stresu może być zbiór zachowań ostrych, nagłych oraz przewlekłych, które charakteryzują się rozmaitymi zaburzeniami. W Łodzi zostały przeprowadzone badania w grupie 190 funkcjonariuszy PSP, strażaków pełniących służbę w jednostkach ratowniczo-gaśniczych PSP mające na celu zbadanie czynników traumatyzujących [12] (tabela 6).

– work environment factors,
– work type factors.

The work environment factors considered the highest burden on firefighter health are the following:

– microclimate impact,
– air pollution (gas, smoke, dust),
– noise.

The factors connected with the type of work depending on the specific nature of the service and the method of performing the work were listed as follows:

– burden of physical exertion,
– exposure to stress,
– changing work shifts,
– the need for full psychomotor mobilisation,
– work at height.

PSP officers are constantly affected by stressors. Their occurrence necessitates the use of the available resources needed to deal with them. The stress that accompanies direct rescue operations at the scene and during service at management positions where mistakes might cost a human being's health or life, is defined as the state of overloading the psychophysical regulation mechanism. It occurs in a situation of danger, difficulty or helplessness in pursuing an individual's important goals, tasks or values [9] Being in danger during a rescue operation is a frequent occurrence in the profession of a firefighter. Firefighters enter places other people escape from and help those in need. These are regularly occurring situations, and during rescue operations there is a constant state of heightened attention and tension. The pattern of the body's response to stress was defined by H. Selye, who referred to it as the "general adaptation syndrome," It follows three stages:

– alarm – the body becomes mobilised and resorts to the resources necessary to deal with the threat, releasing an increased amount of adrenaline,
– resistance – the body focuses on resisting the threat, maintaining the circulation system and metabolism in balance, while energy resources are moved from normal to defensive functions,
– exhaustion – the body is stimulated due to the prolonged influence of the stressor, but the resources are depleting, the physiological function becomes deregulated and the defensive functions become weakened [10].

Stress affects the whole body. Study results have shown that stress causes 14,000 physicochemical changes in the body [11]. Stress may activate a number of sudden, abrupt and chronic behavioural patterns, which are characterised by various disorders. A survey of 190 PSP officers who were firefighters working at the PSP's fire and rescue units was performed in Łódź with the aim of studying traumatic factors [12] (Table 6).

 ISSN 1895-8443

Tabela 6. Występowanie poszczególnych czynników traumatyzujących w badanej grupie strażaków (N = 150)
Table 6. Occurrence of individual traumatic factors in the tested group of firefighters (N = 150)

Lp./No.	Rodzaj czynnika traumatyzującego/(Particular traumatic factor)	N	%
1	Zagrożenie życia (Life threat)	45	30.0
2	Zagrożenie zdrowia (Health hazard)	67	44.7
3	Uszczerbek na zdrowiu (Health damage)	12	8.0
4	Zagrożenie życia kolegów (Colleagues' life threat)	67	44.7
5	Zagrożenie zdrowia kolegów (Colleagues' life damage)	83	55.3
6	Uszczerbek na zdrowiu kolegów (Colleagues' health damage)	20	13.3
7	Śmierć kolegi (Colleagues' death)	3	2.0
8	Obecność dzieci wśród ofiar (Presence of children among victims)	45	30.0
9	Ofiara śmiertelna (Fatality)	106	70.7

Źródło: N. Ogińska-Bulik, I. Langer, *Osobowość typu d i strategie radzenia sobie ze stresem a nasilenie objawów PTSD w grupie strażaków*, Zakład Psychologii Zdrowia Instytut Psychologii Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.
Source: N. Ogińska-Bulik, I. Langer, *Osobowość typu d i strategie radzenia sobie ze stresem a nasilenie objawów PTSD w grupie strażaków*, Zakład Psychologii Zdrowia Instytut Psychologii Uniwersytetu Łódzkiego, Łódź.

Jak można zauważyć 70% respondentów wskazało obecność ofiar śmiertelnych jako czynnik traumatyzujący. Należy jednak pamiętać, że zdarzenie, aby miało znamiona traumatycznego, musi być związane z ekspozycją i doświadczeniem zagrożenia życia, zranienia, zagrożenia fizycznej integralności siebie lub innych [13].

W innych badaniach wśród strażaków, które przeprowadzono w populacji 110 strażaków Podziału Bojowego Komendy Miejskiej Państwowej Straży Pożarnej w Białej Podlaskiej, odpowiedzi wskazują, że tylko 22% ankietowanych strażaków nie odczuwa stresu podczas wykonywania służby. Największym deklarowanym przez strażaków źródłem stresu jest odpowiedzialność za życie osób ratowanych i presja czasu w podejmowaniu decyzji [11]. Są to nieodzowne elementy strażaka działającego w akcji ratowniczej.

As presented above, 70% of respondents indicated the occurrence of fatalities as a traumatic factor. It should be remembered, however, that to be considered traumatic, an event must involve exposure to and the experience of a threat to life or physical integrity of oneself or others [13].

In another survey of firefighters conducted on a population of 110 firefighters of the Action Division of the Municipal Fire Department of the State Fire Service in Biała Podlaska, the responses indicated that only 22% of the respondents claimed they did not experience stress during service. The biggest cause of stress mentioned by the firefighters is responsibility for the lives of the people being rescued, and also the pressure of time when making decisions [11]. These are indispensable elements of a firefighter's work during rescue operations.

Badania ankietowe mające na celu określenie świadomości wpływu stresu na wypadki w akcjach ratowniczych wśród strażaków Państwowej Straży Pożarnej

Badaniem objęto pracowników i funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej komend powiatowych na terenie Polski. Należy zaznaczyć, iż udział w badaniu był całkowicie anonimowy i dobrowolny. Docelowe pytania poprzedzone zostały krótką metryczką charakteryzującą badaną populację.

Według deklaracji respondentów średnia wieku próby wynosi prawie 35 lat (34,9). Najmłodsi mieli 21 lat, natomiast najstarsi 56 lat. Spośród osób wypełniających ankietę tylko 1 respondent nie był funkcjonariuszem Państwowej Straży Pożarnej, pozostałe osoby to strażacy. Niemniej ze względu na fakt, że badania były prowadzone tylko w strukturach Państwowej Straży Pożarnej pośród pracowników PSP, odpowiedź osoby niebędącej funkcjonariuszem została również zakwalifikowana do dalszej analizy. Kolejne pytanie, równie ważne z punktu widzenia

The surveys aimed at assessing the awareness among State Fire Service firefighters of the influence of stress on accidents during rescue operations

The survey covered the employees and officers of the State Fire Service from district fire departments in Poland. It should be emphasised that participation in the study was fully anonymous and voluntary. The target questions were preceded by a short questionnaire of personal information to characterise the surveyed population.

According to the respondents' declarations the average age of the sample was almost 35 years (34.9). The youngest respondents were 21 years old and the oldest were 56. Of the surveyed individuals only 1 respondent was not an officer of the State Fire Service and all others were firefighters. However, due to the fact that the surveys were conducted only within the State Fire Service and among PSP employees, the response of the aforementioned individual was also included in further

omawianej problematyki, opisujące grupę respondentów, dotyczyło stażu służby. Doświadczenie zdobyte w trakcie pracy z jednej strony gwarantuje sprawdzone, pewne i sprawne działania oparte o wiedzę i powtarzalność wykonywanych czynności, z drugiej zaś może wprowadzać rutynę, bezpośrednią przyczynę wielu wypadków.

Swój staż podało 526 osób. Średni staż służby wynosi prawie 12 lat. Ankietę wypełniały osoby zarówno o krótkim stażu – 1 rok, jak i doświadczeni strażacy o stażu 33 lat. Do analizy danych zmienna stażu służby została również podzielona na kategorie. Ustalone kategorie zostały zaczerpnięte z przyjętego w PSP i publikowanego w Biuletynach Informacyjnych PSP podziału wysługi lat służby.

Największy odsetek respondentów – 38% – służy od 6 do 10 lat, 1/5 próby badawczej legitymizuje się stażem od 11 do 15 lat, staż służby w przedziale 16 do 20 lat stanowi 16%, spośród strażaków służących do 5 lat ankietę wypełniło 76, co stanowi 14% respondentów. Z pozostałych grup stażu służby – 3% ankietowanych posiada staż od 26 do 30 lat i 2 strażaków staż służby od 31 do 35 lat. Rozkład ankietowanych jest zbliżony do struktury zatrudnienia funkcjonariuszy PSP.

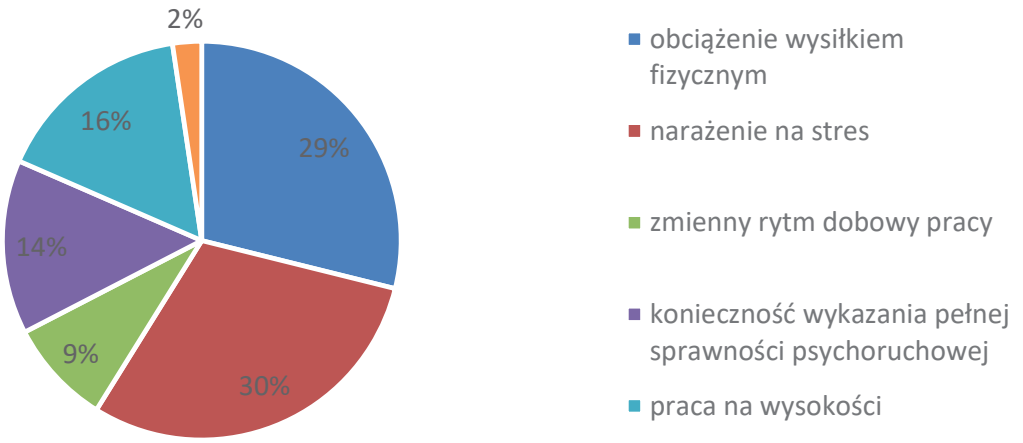
Jedno z zadanych pytań dotyczyło wskazania czynników zagrażających zdrowiu strażaków związanych z charakterem pracy oraz zależnych od sposobu jej wykonywania oraz specyfiki służby .

analysis. The next question, equally important in the context of the subject matter discussed in this paper, describing the group of respondents, referred to their seniority. The experience acquired from years of work on the one hand guarantees proven, reliable and effective methods of action based on knowledge and reproducibility of operations, but on the other hand, it may lead an individual to fall into a routine, which is the direct cause of many accidents.

526 people provided information about their seniority. The average seniority was nearly 12 years. The questionnaire was filled in by people who had been employed for a short period of time – 1 year as well as by experienced firefighters with 33 years' seniority. The variable of seniority was also divided into categories to facilitate data analysis. The specific categories were derived from the seniority division adopted by the PSP and published in the Information Bulletins of the PSP.

The largest percentage of respondents – 38% had worked for 6 to 10 years, 1/5 of the sample had a seniority of 11 to 15 years, 16% from 16 to 20 years and 14% (76 respondents) below 5 years. Of the remaining seniority groups – 3% had worked for 26 to 30 years and 2 respondents from 31 to 35 years. The distribution here is similar to the employment structure of PSP officers.

One of the questions concerned factors putting firefighters' life at risk which were connected with the nature of their job and depended on the manner of performing it and the specifics of the service.



[obciążenie wysiłkiem fizycznym – burden of physical exertion; narażenie na stress – exposure to stress; zmienny rytm dobowy pracy – changing work shifts; konieczność wykazania pełnej sprawności psychoruchowej – need for full psychomotor mobilisation; praca na wysokośći – work at height]

Rycina 2. Czynniki związane z charakterem pracy zależne od specyfiki służby oraz od sposobu wykonywania pracy zagrażające zdrowiu strażaków
Figure 2. Factors related to the nature of the work depending on the specifics of the service and the way in which work is performed that endangers the health of firefighters
Źródło: Opracowanie własne.
Source: Own elaboration.

Spośród czynników zagrażających zdrowiu strażaków związanych z charakterem pracy oraz zależnych od specyfiki służby oraz od sposobu wykonywania pracy, (rycina 2), zdecydowanie

Of the factors having a negative effect on the health of firefighters connected with the nature of their job and depending on the specifics of the service and the manner of performing work

najczęściej wybierano narażenie na stres – 30% i obciążenie wysiłkiem fizycznym 29%. Pracę na wysokości wskazało 1 % ankietowanych, konieczność wykazania pełnej sprawności psychoruchowej 14%, zmienny rytm dobowy 9%.

Kolejnym etapem analizy była weryfikacja wpływu stażu pracy i wieku na postrzeganie czynników zagrażających zdrowiu strażaków. Istotność związku pomiędzy doświadczeniem ankietowanych a ich wskazaniami zbadano za pomocą testów chi-kwadrat.

(Fig.2) most respondents indicated exposure to stress (30%) and physical exertion (29%). Work at height was indicated by 1 % of respondents, the need for full psychomotor mobilisation by 14% and the changing work shifts by 9%.

The next stage of the analysis involved verifying the effect of seniority and age on the perception of factors putting firefighters' health at risk. The significance of the relationship between the experience of the respondents and their answers was examined using Chi-square tests.

Tabela 7. Rozkład czynników związanych z charakterem pracy grup stażu pracy
Table 7. The distribution of factors related to the nature of work according to seniority

obciążenie wysiłkiem fizycznym/burden of physical exertion		czynniki związane z charakterem pracy/work type factors.						Ogółem/ Total
		narażenie na stres/exposure to stress	zmienny rytm dobowy pracy/changing work shifts	konieczność wykazania pełnej sprawności psychoruchowej/ the need for full psychomotor mobilisation,	praca na wysokości/ work at height.	inne/ other		
Straż służby grupy/ Seniority	1–5	39,5%	44,7%		2,6%	13,2%		100,0%
	6–10	37,6%	38,0%	4,4%	8,3%	10,2%	1,5%	100,0%
	11–15	31,0%	47,4%	6,0%	2,6%	12,1%	0,9%	100,0%
	16 i więcej	39,5%	41,9%	2,3%	7,8%	8,5%		100,0%
Ogółem/ Total		36,9%	42,0%	3,6%	6,1%	10,6%	0,8%	100,0%

Source: Opracowanie własne na podstawie badań.
Source: Own elaboration.

Wszyscy respondenci we wszystkich grupach wiekowych najczęściej wskazali na stres jako czynnik związany z charakterem pracy, który stwarza największe zagrożenie dla strażaka w akacji ratowniczej. Średnio ponad 6% mniej badanych wybierało obciążenie wysiłkiem fizycznym, pozostałe czynniki wskazywane są zdecydowanie rzadziej.

All respondents in all age groups usually indicated stress as the factor related to the nature of work which creates the biggest threat to the firefighter in a rescue operation. On average over 6% fewer respondents indicated physical exertion and other factors were much less popular.

Tabela 8. Test Chi-kwadrat badając istotność związku pomiędzy czynnikami związanymi z charakterem pracy a stażem pracy
Table 8. Chi-square test examining the significance of the relationship between factors related to the nature of work and seniority

	Wartość/ Value	df	Istotność asymptotyczna (dwustronna)/ Asymptotic (bilateral) significance
Chi-kwadrat Pearsona/Pearson's chi-square	18,965a	15	0,215
Iloraz wiarygodności/Likelihood ratio	23,608	15	0,072
Test związku liniowego/Linear correlation test	0,165	1	0,684
N Ważnych obserwacji/N valid observations	526		

a. 33,3% komórek (8) ma liczebność oczekiwaną mniejszą niż 5. Minimalna liczebność oczekiwana wynosi ,58. a. 33.3% units (8) have an expected size lower than 5. The minimum expected size is 58.

Source: Opracowanie własne na podstawie badań.
Source: Own elaboration.

Wysoka wartość istotności testu chi-kwadrat badającego związek pomiędzy czynnikami związanymi z charakterem pracy a stażem pracy nie pozwala na odrzucenie hipotezy zerowej o braku związku pomiędzy analizowanymi zmiennymi.

The high value of significance of the chi-square test examining the relationship between factors related to the nature of work and seniority does not allow the rejection of the null hypothesis on the lack of connection between the analysed variables.

Tabela 9. Rozkład czynników związanych z charakterem pracy grup wiekiem
Table 9. Distribution of factors related to the nature of work by age

		czynniki związane z charakterem pracy/work type factors						
		obciążenie wysiłkiem fizycznym/ burden of physical exertion	narażenie na stres/ exposure to stress	zmienny rytm dobowy pracy/changing work shifts	konieczność wykazania pełnej sprawności psychoruchowej/the need for full psychomotor mobilisation	praca na wysokości/ work at height	inne/ other	Ogółem/ Total
Wiek grupy/ Age	20–29	39,2%	44,3%	1,0%	3,1%	11,3%	1,0%	100,0%
	30–34	40,3%	34,7%	3,2%	8,9%	12,1%	0,8%	100,0%
	35–39	32,4%	43,2%	5,8%	6,5%	11,5%	0,7%	100,0%
	40–44	35,9%	44,7%	2,9%	7,8%	7,8%	1,0%	100,0%
Ogółem/Total		36,7%	41,5%	3,5%	6,7%	10,8%	0,9%	100,0%

Source: Opracowanie własne na podstawie badań.
Source: Own elaboration.

Spośród grup wiekowych ankietowanych funkcjonariuszy i pracowników PSP trzy grupy – najmłodsza w wieku 20–29 oraz dwie najstarsze 35–39 i 40–44 – wskazały na narażenie na stres jako stwarzający największe zagrożenie dla strażaka w akacji ratowniczej. Tylko respondenci w wieku 30–34 lat wskazali na obciążenie wysiłkiem fizycznym, stres natomiast wybierany był w drugiej kolejności.

Of the age groups of the surveyed PSP officers and employees, three groups – the youngest, between 20 and 29 years of age and two oldest (35–39 and 40–44), indicated stress as the most dangerous factor for a firefighter during a rescue operation. Only respondents aged 30–34 years indicated the burden of physical exertion, and stress was the second choice.

Tabela 10. Test chi-kwadrat badający istotność związku pomiędzy czynnikami związanymi z charakterem pracy a wiekiem
Tabela 10. Chi-square test assessing the significance of the correlation between the nature of work and age

	Wartość/Value	df	Istotność asymptotyczna (dwustronna)/Asymptotic (bilateral) significance
Chi-kwadrat Pearsona Pearson's chi-square	11,324a	15	0,729
Iloraz wiarygodności Likelihood ratio	12,159	15	0,667
Test związku liniowego Linear correlation test	0,060	1	0,807
N Ważnych obserwacji N valid observations	463		

a. 33,3% komórek (8) ma liczebność oczekiwaną mniejszą niż 5. Minimalna liczebność oczekiwana wynosi 0,84. a. 33.3% of units (8) have an expected size lower than 5. The minimum expected size is 0.84.

Source: Opracowanie własne na podstawie badań.
Source: Own elaboration.

Wyniki obliczeń zaprezentowane w tabeli 10, a w szczególności wysoka wartość istotności testu niezależności analizowanych zmiennyc,h nie pozwala na stwierdzenie, że istnieje związek pomiędzy analizowanymi zmiennymi.

The results of calculations presented in Table 10, and particularly the high significance value of the independence test for the analysed variables, do not show a connection between the analysed variables

Wnioski

Celem artykułu była analiza postrzegania wypadków w akcjach ratowniczych wśród strażaków Państwowej Straży Pożarnej przez pryzmat własnych doświadczeń. W prowadzonych badaniach założono, że strażacy biorący udział w akcjach ratowniczych, bazując na własnym doświadczeniu, mogą inaczej, zapewne właściwiej, ocenić hierarchię zagrożeń związanych z wypadkami przy pracy w działaniach. Aby uzyskać jak najbardziej wiarygodną próbę badawczą, ankieta została przeprowadzona w komendach powiatowych i podległych im jednostkach ratowniczo-gaśniczych. Spośród ankietowanych zdecydowana większość – 99% ankietowanych brała udział

Conclusions

The aim of this article was to analyse the perception of accidents during rescue operations among State Fire Service firefighters, as seen from their own experience. The conducted studies assumed that firefighters taking part in rescue operations can use their experience to make a different, perhaps more accurate, assessment of the hierarchy of threats connected with accidents at work during actions. To obtain as reliable a study sample as possible, the survey was conducted at district fire departments and their subordinate firefighting and rescue units. A vast majority, i.e. 99%, of the respondents have taken part in rescue operations. The respondents were asked to indicate

w akcjach ratowniczych. Ankietowani zostali poproszeni o wskazanie, jakie czynniki związane z charakterem pracy stwarzają największe zagrożenie dla strażaka w akacji ratowniczej. Spośród tego zbioru zdecydowanie najczęściej wybierano narażenie na stres – 30% i obciążenie wysiłkiem fizycznym 29%. Pracę na wysokości wskazało 16% ankietowanych, konieczność wykazania pełnej sprawności psychoruchowej 14%, zmienny rytm dobowy 9%. Staż pracy i wiek ankietowanych nie wpływają istotnie na ocenę zagrożeń i przyczyn wypadków. Zatem, bez względu na doświadczenie zawodowe czy też wynikające z upływu lat, już od początku służby strażacy prawidłowo postrzegają zagrożenia związane z charakterem pracy i wskazują na stres jako główny czynnik wpływający na wypadki przy pracy w akcjach ratowniczych.

which factors related to the nature of their work posed the biggest threat to a firefighter during a rescue operation. Among these, exposure to stress (30%) and physical exertion (29%) were the most frequently selected. Work at height was indicated by 16% of respondents, the need for full psychomotor mobilisation by 14% and the changing work shifts by 9%. The seniority and age of the respondents did not have a significant effect on the assessment of threats and causes of accidents. Therefore, regardless of work experience or age, firefighters are able to correctly identify the threats related to the nature of their work and indicate stress as the primary factor leading to accidents at work during rescue operations.

Wykaz skrótów

PSP – Państwowa Straż Pożarna,
CAWI – Computer Assisted Web Interviews,
USA – (ang. *United States* of America), Stany Zjednoczone Ameryki,
SWD-ST – System Wspomagania Decyzji – ST.

List of abbreviations

PSP – State Fire Service,
CAWI – Computer Assisted Web Interviews,
USA – United States of America,
DSS-ST – Decision Support System – ST.

Literatura/ Literature

[1] Międzynarodowa karta charakterystyki zagrożeń zawodowych strażaka, https://m.ciop.pl/CIOPPortalWAR/appmanager/ciop/pl?_nfpb=true&_pageLabel=P720014285134054595377 9&html_tresc_root_id=19019&html_tresc_id=18999&html_klucz=19019&html_klucz_spis= [dostęp: 01.02.2018].

[2] Shirley A., Murphy S., Beaton R.D., Pike K.C., Johnson L.C., *Occupational Stressors, Stress Responses, and Alcohol Consumption Among Professional Firefighters: A Prospective, Longitudinal Analysis*, „International Journal of Stress Management", Vol. 6, No. 3, 199.

[3] Deppa K.F., Saltzberg J., *Resilience Training for Firefighters. An Approach to Prevent Behavioral Health Problems*, University of Pennsylvania, Wynnewood, PA, USA 2016.

[4] Radko J., *Wtórny zespół stresu pourazowego w pracy strażaków i pracowników pogotowia ratunkowego – przegląd badań*, „OPUSCULA SOCIOLOGICA" 2013, 3, 74.

[5] Korenkiewicz I., *Narażenie zawodowe funkcjonariuszy Państwowej Straży Pożarnej*, http://pis.msw.gov.pl/is/materialy-szkoleniowe/higiena-pracy [dostęp: 01.07.2015].

[6] Encyklopedia PWN.

[7] Selye H., *Stres okiełznany*, PIW, Warszawa 1977, 36–38.

[8] Koradecka D., (red.), *Bezpieczeństwo i higiena pracy*, Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy, Warszawa 2008, 497.

[9] Ogińska-Bulik N., Langer I., *Osobowość typu d i strategie radzenia sobie ze stresem a nasilenie objawów PTSD w grupie strażaków*, Zakład Psychologii Zdrowia Instytut Psychologii Uniwersytetu Łódzkiego, „Medycyna Pracy" 2007, 58 (4), 309.

[10] Zdankiewicz-Ścigała E., Przybylska M., *Trauma. Proces i diagnoza. Mechanizmy psychoneurofizjologiczne*, Wyd. Instytutu Psychologii PAN, Warszawa 2002.

[11] Oskwarek P. P., Tokarska-Rodak M., *Stres w środowisku pracy strażaków*, Rozprawy Społeczne 2017, Tom 11, Nr 2, 59.

[12] Bednarska S., Cypryańska M. (red.), *Statystyczny drogowskaz 1. Praktyczne wprowadzenie do wnioskowania statystycznego*, Wyd. Akademickie Sedno, Warszawa 2013.

[13] Nawojczyk M., *Przewodnik po statystyce dla socjologów*, SPSS Polska, Kraków 2010.

[14] Bednarska S., Brzezicka A. (red.), *Statystyczny drogowskaz. Praktyczne poradnik analizy danych*, Wydawnictwo szkoły Wyższej Psychologii Społecznej „Academica", Warszawa 2007.

[15] Mockałło Z., *Stres pourazowy w zawodzie strażaka – przegląd badań*, „Bezpieczeństwo Pracy: nauka i praktyka" 2009, 6, 2–5.

ST. KPT. DR BARBARA SZYKUŁA-PIEC – absolwentka Uniwersytetu Warszawskiego, Wydziału Filozofii i Socjologii, Instytutu Socjologii. Zainteresowania naukowe łączy z działalnością praktyczną, pracując z osobami uzależnionymi jako wolontariusz oraz lektor przy Fundacji im. Stefana Batorego w Warszawie. Od roku 2002 pracuje w Szkole Głównej Służby Pożarniczej. Uczestniczka licznych szkoleń i kursów z obszaru interwencji kryzysowej. Pod koniec 2014 roku obroniła tytuł doktora socjologii na Uniwersytecie w Białymstoku. Zagadnienia

SENIOR CAPTAIN BARBARA SZYKUŁA-PIEC, PH.D. – graduated from the University of Warsaw, Philosophy and Sociology Department, Institute of Sociology. In addition to pursuing her research interests she is also active in working with addicts as a volunteer and instructor in the Stefan Batory Foundation in Warsaw. Since 2002 she has worked at the Main School of Fire Service. She has participated in a number of training sessions and courses on emergency intervention. In late 2014 she defended her doctoral dissertation in sociology at the University of Bialystok.

poruszane w rozprawie dotyczyły wpływu czynników społeczno-ekonomicznych na poczucie bezpieczeństwa mieszkańców powiatów. Tematy związane ze stresem, przemocą, dyskryminacją i równością wobec prawa, to oprócz badań nad kulturą zaufania, zachowaniami, relacjami grupowymi, wpływem społecznym, główne obszary zainteresowań. Obecnie, z ramienia Państwowej Straży Pożarnej, jest członkinią Komisji Kobiety w Służbach ratowniczych przy Międzynarodowym Komitecie Technicznym Prewencji i Zwalczania Pożarów.

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

The issues covered in her dissertation were related to the impact of socio-economic factors on the sense of safety among the residents of districts. Subjects connected with stress, violence, discrimination and equality before law, in addition to studies of a culture of trust, behaviour, group relationships and social influence, are her main fields of interest. Currently she is representing the State Fire Service as a member of the Commission for Women in Fire and Rescue Services of the International Association of Fire and Rescue Services (CTIF).

BRIGADIER ROBERT PIEC, PH.D. ENG. – graduated from the Faculty of Fire Safety Engineering at the Main School of Fire Service with the title of MSc Eng. Doctor of technical sciences in environmental engineering conferred by Resolution of the Scientific Council of the Central Institute for Labour Protection – National Research Institute. He also completed postgraduate studies in the field of Emergency Management at the Main School of Fire Service, postgraduate studies in the field of Databases at the Warsaw School of Information Technology and postgraduate studies with Ph.D. seminars "Risk Analysis" at the Academy of Finance. He is the author or co-author of numerous articles, monograph chapters and papers presented at domestic and international conferences. Currently, he is the Head of the Chair of Engineering Safety of the Faculty of Civil Safety Engineering at the Main School of Fire Service.

Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego

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

Jedyna taka publikacja na polskim rynku*

GASZENIE POŻARÓW WEWNĘTRZNYCH

Rozgorzenie i spalanie gazów pożarowych, metody gaśnicze, taktyka działań, szkolenie w warunkach rzeczywistych

Adrian Ridder

Ulrich Cimolino

Martin Fuchs

Jan Südmersen

Guido Volkmar

Tłumaczenie i redakcja: Jan Kielin

- przedstawia **rzeczywisty stan nauki i techniki** w zakresie gaszenia pożarów wewnętrznych
- w kompleksowy sposób prezentuje **zagadnienia dynamiki pożaru, metod i technik gaszenia pożarów wewnętrznych, technik wentylacji taktycznej oraz kwestie szkolenia strażaków w warunkach realnego pożaru**
- **podstawy dotyczące procesów chemiczno-fizycznych** zachodzących podczas spalania
- **dokładne definicje zjawisk pożarowych**, które nigdzie wcześniej nie zostały opisane

ZAMÓW SWÓJ EGZEMPLARZ NA WWW.CNBOP.PL

* Publikacja została oparta na realiach systemu ratowniczego w Niemczech, jednak posiada odniesienie do systemu ratowniczo-gaśniczego funkcjonującego w Polsce.

W

Relacje z konferencji, sympozjów, szkoleń, targów oraz innych wydarzeń dotyczących bezpieczeństwa i ochrony przeciwpożarowej. Zapraszamy do lektury!

V MIĘDZYNARODOWA KONFERENCJA NAUKOWA

„Logistyka w ratownictwie”

W dniach 4–7 września 2018 roku w Mikołajkach odbyła się V międzynarodowa konferencja naukowa pt. „Logistyka w ratownictwie”. Organizatorem wydarzenia był Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny im. K. Pułaskiego w Radomiu przy współudziale następujących jednostek naukowych i instytucji:

- Centrum Naukowo-Badawczego Ochrony Przeciwpożarowej im. Józefa Tuliszkowskiego Państwowego Instytutu Badawczego,
- Wydziału Prawa i Administracji Uniwersytetu Opolskiego,
- Wydziału Zarządzania Politechniki Warszawskiej,
- Wydziału Prawa Administracji i Zarządzania Uniwersytetu Jana Kochanowskiego w Kielcach,
- Wydziału Bezpieczeństwa Narodowego i Logistyki Wyższej Szkoły Oficerskiej Sił Powietrznych,
- Wydziału Nauk o Zarządzaniu i Bezpieczeństwie Społecznej Akademii Nauk w Łodzi,
- Wojskowego Instytutu Techniki Pancernej i Samochodowej,
- Polskiego Towarzystwa Medycyny i Technik Hiperbarycznych,
- Szkoły Ratownictwa, Sportów Wodnych i Obronnych „Podwodnik”,
- Okręgowej Izby Lekarskiej w Warszawie,
- Okręgowego Wodnego Ochotniczego Pogotowia Ratunkowego w Radomiu.

ISSN 1895-8443

„Logistyka w ratownictwie" to międzynarodowa i interdyscyplinarna konferencja cykliczna przeznaczona dla specjalistów zajmujących się szeroko pojętym bezpieczeństwem, w tym ratowaniem osób i mienia. Wydarzenie to jest okazją do spotkań ekspertów i wymiany poglądów. Podczas tej edycji spotkania skupiono się na problemie optymalizacji procesu logistycznego niesienia pomocy w obliczu różnych rodzajów zagrożeń i zdarzeń o zróżnicowanej skali i zasięgu. Oprócz zagadnień związanych z szybkim i efektywnym przeprowadzaniem akcji ratunkowych, poruszone zostały również tematy związane ze sposobami i metodami przeciwdziałania zagrożeniom oraz sposoby likwidacji skutków zdarzeń.

W konferencji uczestniczyli m.in. naukowcy i eksperci związani z bezpieczeństwem, logistyką w ratownictwie, nowoczesnymi technologiami i technikami w logistyce, logistyką w służbie zdrowia, ratownictwem lotniczym, wodnym i górskim.

Spotkanie składało się z następujących sekcji tematycznych:

I. Medycyna
II. Służby mundurowe
III. Ekologia, ratownictwo: wodne, górskie, morskie i lotnicze
IV. Transport
V. Bezpieczeństwo
VI. Prawo w ochronie zdrowia

Prelegenci z CNBOP-PIB zaprezentowali dwa referaty dotyczące realizowanego w ramach konsorcjum naukowego projektu nr DOB-BIO7/08/01/2015. Wspomniany projekt jest finansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju (konkurs nr 7/2015 na wykonanie projektów w zakresie badań naukowych lub prac rozwojowych na rzecz obronności i bezpieczeństwa państwa). Wystąpienia nosiły tytuły: *Wybrane zagadnienia ochrony ppoż. obiektów muzealnych i sakralnych*, *Projekt „Opracowanie innowacyjnego systemu zarządzania bezpieczeństwem obiektów zabytkowych w zurbanizowanych centrach miast OZAB"*. Dodatkowo w ramach sesji IV przedstawiono referat pt. Wykorzystanie potencjału logistycznego jednostek PSP na przykładzie długotrwałych akcji ratowniczych. W ramach wystąpienia przedstawiono możliwości wykorzystania zasobów terenowych przez jednostki PSP podczas długotrwałych akcji ratowniczych. Wskazano na stałe i zmienne potrzeby jednostek. Omówiono typowe problemy podczas realizacji zabezpieczenia logistycznego oraz wskazano postulatywne kierunki zmian w zakresie organizacji zabezpieczenia logistycznego jednostek PSP podczas długotrwałych akcji ratowniczych. Zidentyfikowano możliwości i ograniczenia jednostek PSP podczas pozyskiwania zasobów terenowych w trakcie długotrwałych akcji ratowniczych.

Po każdej prelekcji miała miejsce aktywna dyskusja dotycząca poruszanej problematyki. W wystąpieniach zawarte były głównie propozycje dotyczące potrzeby podejmowania systematycznych działań integrujących poszukiwania badawcze służące wymianie wiedzy oraz doświadczeń w obszarze optymalizacji procesów logistycznych akcji niesienia pomocy w przypadku różnych zagrożeń. Podkreślono potrzebę kontynuacji badań, wdrażania nowych rozwiązań i dyskusji o nich.

Opracowanie: mgr BEATA WOJTASIAK,
Specjalista w Zakładzie Ocen Technicznych CNBOP-PIB

Najważniejsze informacje w jednym miejscu*

Kieszonkowy poradnik kierującego działaniem ratowniczym

Informacje i listy kontrolne dla dowódców

Markus Gunter

Rolf Hermsen

Martin Neuhaus

Tłumaczenie i redakcja: Jan Kielin

- **po raz pierwszy w Polsce!**
- zawiera **podstawowe informacje i wskazówki** dotyczące akcji ratowniczo-gaśniczych
- **poradnik składa się z 4 działów tematycznych** oznaczonych innymi kolorami: Zagadnienia ogólne (biały), Pożary (czerwony), Ratownictwo techniczne (niebieski) i CBRN (zielony)
- poradnik wydrukowany **na papierze wodoodpornym**

ZAMÓW SWÓJ EGZEMPLARZ NA WWW.CNBOP.PL

* Publikacja stanowi przekład z języka niemieckiego. Uwzględniono w niej regulacje obowiązujące w Polsce, które funkcjonują w poszczególnych obszarach.

Bitp.cnbop.pl